

CIGRE

**COMITES N° 34 & 35 COMMITTEES Nos 34 & 35
(ANCIENNEMENT 4 & 14) (FORMER 4 & 14)**

3-5 rue de Metz – 75010 PARIS

TELEPROTECTION

**RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL COMMUN
SUR LA TELEPROTECTION**

**REPORT OF THE JOINT WORKING
GROUP ON TELEPROTECTION**



Ce rapport annule et remplace tous les textes provisoires soumis aux deux Comités d'Etudes de la CIGRE, anciennement n° 4 et 14, et de date antérieure. Il est publié par la CIGRE dans le but de faciliter à tous ceux qui s'y intéressent la compréhension des problèmes de téléprotection.

Un condensé d'une version antérieure de la Partie 3 du présent rapport a été publié en annexe au Rapport 331 de la Session de 1966 de la CIGRE.

Certaines figures de ce rapport ayant été préparées avant que les symboles graphiques de la C.E.I. ne soient diffusés, on constatera que ces symboles ne sont pas systématiquement employés dans toutes les figures.

Bien que tout le soin nécessaire ait été apporté à la préparation de cette publication et que les informations qu'elle contient aient été soigneusement contrôlées, les milieux autorisés de la CIGRE, tout comme les auteurs ou les organismes auxquels ils appartiennent, déclinent toute responsabilité quant à l'exactitude des informations qui sont fournies et aux conséquences de l'usage qui en serait fait.

Leatherhead, mars 1969

This report supersedes all draft versions submitted to the former CIGRE Study Committees 4 and 14 and bearing earlier dates. It is published by CIGRE to improve the understanding of those concerned with Teleprotection.

A shortened version of an earlier form of Part 3 of this report appeared as an Appendix to Paper 331 of CIGRE, Session in 1966

Because certain of the drawings in the report were prepared before I.E.C. symbols were available, it will be found that such I.E.C. symbols are not universally employed in every drawing.

While every care has been exercised in the preparation of this publication and the information contained therein has been checked, neither the officials of the organisation of CIGRE the authors or their respective organisations can accept any responsibility for the correctness of the information or for consequences arising from its use.

March 1969 Leatherhead

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS	
1. INTRODUCTION	
1.1 Buts et objectifs.....	12
1.2 Relations générales entre les protections et le réseau.....	16
1.3 Principes de la protection.....	20
1.3.1 Terminologie.....	20
1.3.2 Concepts de base de la protection.....	20
1.3.3 Systèmes sélectifs dépendants.....	22
1.3.4 Systèmes sélectifs indépendants.....	26
1.4 Méthodes de base pour l'utilisation des liaisons de téléinformation.....	28
1.5 Défauts sur le réseau.....	28
1.5.1 Défauts.....	28
1.5.2 Conditions anormales.....	32
1.6 Dispositions et conditions de réseau liées à la téléprotection.....	32
1.6.1 Réenclenchement automatique.....	34
1.6.2 Stabilité du réseau.....	34
1.6.3 Régimes instables.....	34
1.6.4 Circuits alimentant des transformateurs.....	34
1.6.5 Télédéclenchement.....	36
1.6.6 Lignes courtes en série avec des lignes longues.....	36
1.6.7 Lignes longues et fortement chargées.....	38
1.6.8 Lignes courtes.....	38
1.6.9 Câbles à haute tension.....	40
1.6.10 Condensateurs série.....	40
1.6.11 Protection de réserve.....	40
1.6.12 Usines génératrices éloignées des postes.....	42
2. SYSTEMES DE PROTECTION	
2.1 Généralités.....	44
2.2 Systèmes de protection utilisant la liaison de téléinformation pour la transmission d'informations quantitatives.....	44
2.2.1 Techniques de sommation.....	44
2.2.2 Protection différentielle longitudinale utilisant des fils pilotes.....	48
2.2.2.1 Principes de fonctionnement.....	48
2.2.2.2 Caractéristiques des fils pilotes.....	56
2.2.2.3 Perturbations et bruit.....	56
2.2.2.4 Sécurité de fonctionnement.....	58
2.2.2.5 Règlements limitatifs.....	60
2.2.2.6 Indications d'emploi.....	60

LIST OF CONTENTS

	Pages
FOREWORD	
1. INTRODUCTION	
1.1 Aims and Objectives.....	13
1.2 General Relationship between Protection and the Power System.....	17
1.3 Some Principles of Protection.....	21
1.3.1 Terminology	21
1.3.2 Basic Concepts of Protection.....	21
1.3.3 Relatively Selective Systems	23
1.3.4 Absolutely Selective Systems	27
1.4 Basic Methods of using Information Links.....	29
1.5 Faults on the Power System	29
1.5.1 Faults	29
1.5.2 Abnormal Conditions	33
1.6 Power Systems Arrangements and Conditions related to Teleprotection.....	33
1.6.1 Auto-Reclosing.....	35
1.6.2 System Stability	35
1.6.3 System Instability	35
1.6.4 Transformer Feeders.....	35
1.6.5 Tripping.....	37
1.6.6 Short Lines in Series with Long Lines.....	37
1.6.7 Long and Heavily Loaded Lines	39
1.6.8 Short Lines	39
1.6.9 High Voltage Cables	41
1.6.10 Series Capacitors	41
1.6.11 Back-up Protection.....	41
1.6.12 Generating Stations Distant from Switching Stations.....	43
2. SYSTEMS OF PROTECTION	
2.1 General.....	45
2.2 Protective Systems using the Information Link to convey Quantitative Information	45
2.2.1 Summation Techniques.....	45
2.2.2 Longitudinal Differential Protection using Pilot Wires.....	49
2.2.2.1 Principles of Operation.....	49
2.2.2.2 Characteristics of Pilot Wires	57
2.2.2.3 Interference and Noise.....	57
2.2.2.4 Reliability	59
2.2.2.5 Restricting Regulations	61
2.2.2.6 Notes on Application.....	61

	Pages
2.2.3 Protection à comparaison de phase.....	62
2.2.3.1 Principes de fonctionnement.....	62
2.2.3.2 Caractéristiques des liaisons de téléinformation.....	66
2.2.3.3 Perturbations et bruit.....	74
2.2.3.4 Sécurité de fonctionnement.....	74
2.2.3.5 Règlements limitatifs.....	76
2.2.3.6 Indications d'emploi.....	76
2.3 Systèmes de protection utilisant la liaison de téléinformation pour la transmission d'un ordre simple.....	78
2.3.1 Généralités.....	78
2.3.2 Systèmes basés sur un ordre de déclenchement.....	80
2.3.2.1 Déclenchement interdépendant direct.....	80
2.3.2.2 Déclenchement interdépendant utilisant la protection principale.....	82
2.3.2.3 Protection de distance avec accélération.....	82
2.3.2.4 Déclenchement conditionnel avec dépassement.....	88
2.3.3 Systèmes basés sur un ordre de verrouillage.....	88
2.3.3.1 Protection de distance avec verrouillage du déclenchement....	90
2.3.3.2 Comparaison du sens de la puissance.....	92
2.4 Systèmes à extrémités multiples.....	92
2.4.1 Déclenchement interdépendant.....	94
2.4.2 Relais de distance.....	96
2.4.3 Protection différentielle.....	98
2.4.4 Comparaison de phase et comparaison de sens.....	98
2.4.5 Relais de mise en route.....	100
2.5 Combinaison de systèmes de protection agissant conjointement.....	102
2.5.1 Protection de distance et protection à comparaison de direction.....	102
2.5.2 Protection à comparaison de phase et protection à comparaison de direction ou de distance avec verrouillage.....	104
2.5.3 Système "Echo" (Japon).....	104
2.5.4 Emploi de deux systèmes de protection principale.....	106
3. SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS	
3.1 Considérations générales.....	112
3.1.1 Coordination des exigences concernant la sécurité de fonctionnement des équipements de protection et des liaisons de téléinformation.....	112
3.1.1.1 Influence des perturbations sur la sécurité de fonctionnement.....	116
3.1.1.2 Sécurité de fonctionnement.....	120
3.1.1.3 Sécurité de fonctionnement - vitesse de fonctionnement - largeur de bande.....	124
3.1.1.4 Sécurité de fonctionnement et codage.....	124
3.1.1.5 Sécurité de fonctionnement et transmission par plusieurs itinéraires.....	126
3.1.2 Méthodes de transmission et de réception des informations.....	126
3.1.2.1 Transmission en courant continu et à fréquence vocale.....	126
3.1.2.2 Transmission par courants porteurs et voies radio.....	128
3.1.2.3 Multiplexage.....	130
3.1.3 Résumé des généralités.....	130
3.2 Systèmes de télécommunications utilisant des conducteurs auxiliaires (câbles et fils de télécommunications).....	132
3.2.1 Procédés de transmission.....	132

	Pages
2.2.3 Phase Comparison Protection.....	63
2.2.3.1 Principles of Operation	63
2.2.3.2 Characteristics of Information Links.....	67
2.2.3.3 Interference and Noise.....	75
2.2.3.4 Reliability.....	75
2.2.3.5 Restricting Regulations	77
2.2.3.6 Notes on Application.....	77
2.3 Protection Systems using the Information Link to convey a Simple Command.....	79
2.3.1 General	79
2.3.2 Systems based on a command "to trip"	81
2.3.2.1 Direct Intertripping	81
2.3.2.2 Intertripping through Main Protection.....	83
2.3.2.3 Accelerated Distance Protection (Permissive Underreaching) (Permissive Intertripping)	83
2.3.2.4 Permissive Overreaching.....	89
2.3.3 Systems based on a Command to Block Tripping.....	89
2.3.3.1 Distance Protection with Blocking of Tripping.....	91
2.3.3.2 Power Direction Comparison.....	93
2.4 Multi-ended Systems	93
2.4.1 Intertripping	95
2.4.2 Distance Relays.....	97
2.4.3 Differential Protection.....	99
2.4.4 Phase Comparison and Direction Comparison	99
2.4.5 Starting Relays	101
2.5 Combinations of Protection Systems acting in Co-operation	103
2.5.1 Distance Protection with Directional Comparison Protection.....	103
2.5.2 Phase Comparison Protection with Direction Comparison or Distance Blocking Protection	105
2.5.3 "Echo" System (Japan)	105
2.5.4 The use of Two Systems of Main Protection.....	107
3. TELECOMMUNICATION SYSTEMS	
3.1 General Considerations	113
3.1.1 Co-ordination of Reliability Requirements of Protective Equipment and Information Links	113
3.1.1.1 The Influence of Interference on Reliability.....	117
3.1.1.2 Reliability.....	121
3.1.1.3 Reliability - Speed of Operation - Bandwidth.....	125
3.1.1.4 Reliability - Message Coding	125
3.1.1.5 Reliability - Multi-Route Transmission.....	127
3.1.2 Methods of Transmission and Detection of Information.....	127
3.1.2.1 D.C. and Voice Frequency Transmission.....	127
3.1.2.2 Carrier Current and Radio Frequency Transmission.....	129
3.1.2.3 Multiplexing	131
3.1.3 Summary of General Considerations.....	131
3.2 Telecommunication Systems using Auxiliary Conductors (Signalling Cables and Wires).....	133
3.2.1 Methods of Signalling.....	133

	Pages
3.2.1.1 Transmission en courant continu.....	134
3.2.1.2 Systèmes utilisant la fréquence du réseau.....	136
3.2.1.3 Systèmes à fréquences vocales et à courants porteurs.....	136
3.2.2 Types de circuits.....	146
3.2.3 Origines et grandeurs du bruit et des perturbations.....	148
3.2.4 Sécurité de fonctionnement.....	154
3.2.4.1 Lignes aériennes.....	154
3.2.4.2 Câbles.....	156
3.2.4.3 Surveillance des circuits.....	156
3.2.5 Règlements limitatifs.....	156
3.2.6 Mesures de protection associées aux câbles et lignes de télécommuni- cations	158
3.3 Courants porteurs sur les lignes d'énergie et les fils de garde isolés (Tech- nique C. P. L.)	162
3.3.1 Méthode de signalisation.....	164
3.3.2 Types de circuits	164
3.3.3 Perturbations et bruit	168
3.3.4 Sécurité de fonctionnement.....	174
3.3.5 Règlements limitatifs.....	174
3.4 Liaisons radio	174
3.4.1 Méthode de signalisation.....	174
3.4.2 Types de circuits	176
3.4.3 Aériens (antennes).....	180
3.4.4 Caractéristiques des circuits radio entre deux stations fixes.....	182
3.4.5 Perturbations et bruit	186
3.4.6 Sécurité de fonctionnement.....	188
3.4.7 Règlements limitatifs.....	190
4. <u>POSSIBILITES PRATIQUES DES VOIES DE TRANSMISSION</u>	
4.1 Distances usuellement couvertes.....	192
4.2 Temps de transmission pratiques des voies de transmission.....	196
4.3 Largeur de bande et vitesse de transmission des canaux.....	198
5. <u>CONCLUSIONS</u>	202
6. <u>RECOMMANDATIONS</u>	206
7. <u>LISTE DES FIGURES</u>	208
8. <u>GLOSSAIRE</u>	
8.1 Termes concernant les protections	216
8.2 Termes concernant les télécommunications.....	220
8.3 Différentes notations des niveaux en dB (Np) utilisées dans les télécommuni- cations.....	244
8.4 Liste des vocabulaires et des normes où ont été prises les définitions, ou ayant trait au présent rapport	246
8.4.1 Protections	246
8.4.2 Télécommunications	246
8.5 Liste des termes explicatifs	246
8.5.1 Protections	248
8.5.2 Télécommunications	250
9. <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	260
9.1 Protections	260
9.1.1 Généralités	

	Pages
3.2.1.1 Direct Current Signalling.....	135
3.2.1.2 Power Frequency Systems.....	137
3.2.1.3 Audio and Carrier Frequency Systems	137
3.2.2 Types of Circuit	147
3.2.3 Sources and Magnitudes of Noise and Interference.....	149
3.2.4 Reliability	155
3.2.4.1 Open Wire Systems.....	155
3.2.4.2 Cable Systems	157
3.2.4.3 Supervision	157
3.2.5 Restricting Regulations	157
3.2.6 Protective Measures Associated with Signalling Cables and Wires	159
3.3 Carrier Current on High Voltage Lines and Isolated Ground Wires (P.L.C. Technique).....	162
3.3.1 Method of Signalling.....	165
3.3.2 Type of Circuit	165
3.3.3 Interference and Noise.....	169
3.3.4 Reliability	175
3.3.5 Restricting Regulations	175
3.4 Radio Links.....	175
3.4.1 Method of Signalling.....	175
3.4.2 Type of Circuit	177
3.4.3 Aerials (Antennae)	181
3.4.4 Characteristics of Point-to-Point Radio Circuits.....	183
3.4.5 Interference and Noise.....	187
3.4.6 Reliability	189
3.4.7 Restricting Regulations	191
4. <u>CAPABILITIES OF PRACTICAL CHANNELS</u>	
4.1 Distances Typically Covered	193
4.2 Practical Channel Propagation Times	197
4.3 Bandwidth and Channel Speed.....	199
5. <u>CONCLUSIONS</u>	203
6. <u>RECOMMENDATIONS</u>	207
7. <u>LIST OF FIGURES</u>	209
8. <u>GLOSSARY</u>	
8.1 Protection Terms	217
8.2 Telecommunication Terms	221
8.3 Different level notations in dB (Np) used in telecommunications	245
8.4 List of glossaries and standards from which definitions of terms have been taken or are relevant to the report.....	247
8.4.1 Protection	247
8.4.2 Telecommunication	247
8.5 List of Explanatory Terms.....	247
8.5.1 Protection	249
8.5.2 Telecommunication	251
9. <u>BIBLIOGRAPHY</u>	
9.1 Protection	260
9.1.1 General.....	260

	Pages
9.2 Télécommunications.....	262
9.2.1 Généralités.....	263
9.2.2 Systèmes à courants porteurs et CPL.....	265
9.2.3 Transmission de données, théorie de l'information.....	268
9.2.4 Induction, Transitoires, Perturbations et Protection des circuits de télécommunications.....	271
9.2.5 Systèmes radio et micro-ondes.....	275
9.2.6 Sécurité de fonctionnement.....	276
9.2.7 Propagation des ondes sur les lignes.....	277
 10. <u>LISTE DES PARTICIPANTS AU GROUPE DE TRAVAIL ET REMERCIEMENTS</u>	 280
 11. <u>ANNEXES</u>	
A 1 Théorie de la transmission.....	284
A 1.1 Signification de l'information.....	284
A 1.2 Vitesse d'une source, capacité d'un canal et codage.....	284
A 1.3 Correspondance entre la largeur de bande (ou la vitesse de transmission) et le rapport signal/bruit.....	290
A 2 Sécurité de fonctionnement - probabilité et analyse statistique.....	294
A 2.1 Coordination de la sécurité de fonctionnement des sous-ensembles et de la sécurité de fonctionnement globale (systèmes doubles et triples)...	295
A 2.2 Exigences concernant la sécurité de fonctionnement des équipements de protection et des liaisons de téléinformation.....	298
A 3 Transmission digitale de données.....	302
A 3.1 Conversion analogique digitale.....	302
A 3.2 Largeur de bande, vitesse et multiplexage.....	302
A 3.3 Codes du type à redondance, détection des erreurs et correction.....	302
A 3.4 Effet de la subdivision des canaux sur la vulnérabilité au bruit.....	304
A 4 Systèmes de couplage pour courants porteurs sur lignes d'énergie.....	310
A 4.1 Systèmes de couplage conventionnels.....	310
A 4.2 Systèmes de couplage quart - d'onde.....	310

	Pages
9.2 Telecommunication.....	262
9.2.1 General.....	263
9.2.2 Carrier and P.L.C. Systems	265
9.2.3 Data Transmission, Information Theory, A.F. Transmission.....	268
9.2.4 Induction, Transients, Interference and Communication Line Protection	271
9.2.5 Radio and Microwave Systems.....	275
9.2.6 Reliability	276
9.2.7 Wave Propagation in Lines.....	277
10. <u>LIST OF CONTRIBUTORS TO THE WORKING GROUP AND ACKNOWLEDGEMENTS</u>	281
11. <u>APPENDICES</u>	
A 1 Communication Theory	285
A 1.1 The Meaning of Information	285
A 1.2 Source Rate, Channel Capacity and Coding	285
A 1.3 The Exchange of Bandwidth (or Transmission Speed) for Signal/Noise Ratio	291
A 2 Reliability - Probability and Statistical Analysis	295
A 2.1 Co-ordination of Reliability of Sub-Assemblies and Overall Reliability (Dual and Triple Systems).....	295
A 2.2 Reliability Requirements of Protective Equipment and Information Links	299
A 3 Digital Data Transmission.....	303
A 3.1 Analogue Digital Conversion.....	303
A 3.2 Bandwidth, Speed and Multiplexing.....	303
A 3.3 Redundancy Type Codes, Error Detection and Correction.....	303
A 3.4 Effect of Channel Sub-Division on Vulnerability to Noise	305
A 4 Power Line Carrier Coupling Systems.....	311
A 4.1 Conventional Coupling Systems.....	311
A 4.2 Quarter Wave Coupling Systems	311

AVANT-PROPOS

L'appareillage de protection, dans les réseaux d'énergie modernes, fait souvent usage d'informations en provenance de points éloignés du réseau et la transmission de telles informations implique l'emploi des techniques des télécommunications.

Le besoin se fait plus pressant d'une collaboration et d'une compréhension étroites entre les ingénieurs qui s'occupent de la conception et de l'exploitation des protections, et ceux qui s'occupent de télécommunications puisque les canaux et les procédés utilisés pour transmettre l'information - de même que la manière de l'utiliser - peuvent présenter un intérêt commun.

Le degré d'importance que présente le fonctionnement sûr d'un canal de télécommunications diffère considérablement d'un type de protection à un autre, et il est nécessaire que les ingénieurs des télécommunications, qui peuvent souvent avoir à utiliser des canaux conçus essentiellement pour d'autres applications, comprennent clairement les exigences de la protection avant de choisir le type de canal approprié. De la même façon, la conception et la réalisation des systèmes de protection doivent tenir compte des propriétés du canal de télécommunications, quel qu'il soit, qu'il est envisagé d'utiliser.

Ce rapport a été établi en collaboration par des experts choisis dans les Comités n° 4 et 14 de la CIGRE et spécialistes respectivement des protections et des télécommunications. Son but est de passer en revue les principales méthodes de téléprotection, au regard des divers systèmes de télécommunications, leur mise en œuvre, et les relations entre les deux domaines. Le spécialiste d'un de ces domaines ne doit pas s'attendre à y trouver un traitement exhaustif de sa spécialité puisque le but principal est de le mettre en contact avec les problèmes majeurs du domaine qui n'est pas le sien. Ce rapport ne peut, non plus, entrer dans tous les détails étant donné qu'il traite de domaines hautement spécialisés. Il est recommandé au lecteur qui ne cherche qu'une information générale de lire les Sections 1, 3.1, 5 et 6. Les autres sections entrent davantage dans les détails et sont complétées, lorsque c'est nécessaire, par la bibliographie donnée dans la Section 9.

FOREWORD

Protective gear in modern power systems often uses information from various distant points on the power system and the transmission of such information involves the use of telecommunication techniques.

There is a growing need for close collaboration and understanding between those engineers concerned with the design and operation of protective gear, and those concerned with telecommunication, since the channels and methods used for transmitting the information - as well as the way in which the information is used - may often be of common interest.

The degree of importance of the reliable operation of the telecommunication channel varies considerably as between one type of protection system and another, so it is necessary for telecommunication engineers, who may often use channels essentially designed for other purposes, to have a clear understanding of the protection requirements before choosing an appropriate telecommunication channel. In the same way, the design and application of protection systems must take into account the properties of whatever telecommunication channel it is intended to use.

The report has been jointly prepared by experts drawn from CIGRE. Committees 4 and 14 which are concerned with the particular subjects of Protection and Telecommunication. It is aimed at reviewing the principal methods of teleprotection having regard to the properties of the various telecommunication systems, their application and the inter-relationship of the two fields. A specialist in either field will not expect to find his own subject exhaustively covered in the report, since the main object is to introduce him to the major factors in the field which is not his own. The report cannot be complete in all details since it deals with two highly specialised fields. The reader requiring only a general understanding is recommended to read Sections 1, 3.1, 5 and 6. More detailed information is contained in the remaining sections supplemented where necessary by the bibliography given in Section 9.

1. - INTRODUCTION

1.1 - BUTS ET OBJECTIFS

L'accroissement de la taille, de la complexité et de la puissance des réseaux à haute tension fait ressortir le besoin de protections rapides, sélectives et de haute sécurité. La protection est basée sur des informations prélevées en un ou plusieurs points du réseau. Lorsque ces points sont voisins, par exemple situés dans l'enceinte d'un même poste, les disciplines et les techniques mises en jeu sont bien connues des ingénieurs des protections. La protection sélective rapide d'ouvrages tels que des câbles ou des lignes, dont les extrémités sont géographiquement séparées, nécessite un échange d'informations entre ces extrémités. Les systèmes de protection de ce genre impliquent l'emploi de liaisons de téléinformation semblables ou identiques à celles utilisées dans les télécommunications.

Dans la conception et la mise en œuvre de systèmes de protection utilisant les liaisons de téléinformation, il est souhaitable que les ingénieurs des protections soient avertis des possibilités, comme des limitations, de ces liaisons et, qu'en même temps, les ingénieurs des télécommunications soient conscients des exigences particulières des dispositifs de protection. En vue d'améliorer cette compréhension mutuelle et cette coopération, les Comités d'Etudes n° 4 et 14 de la CIGRE ont constitué des Groupes de Travail pour étudier les problèmes posés par ce domaine des protections qui a reçu le nom de "Téléprotection". Le présent rapport est le fruit des travaux de ces Groupes de Travail et la section 10 donne les noms des membres ayant participé aux différents stades de sa préparation. Ce rapport n'est pas nécessairement complet du point de vue technique et il est possible que, faute d'informations, il ne rende pas entièrement compte de la pratique dans les différents pays.

Il a pour objectifs :

- (a) de passer en revue la pratique actuelle pour les différents types de protections faisant appel à la transmission d'informations à distance.
- (b) d'examiner les circonstances qui, dans un réseau, peuvent conduire à la nécessité d'employer des téléprotections.
- (c) d'examiner les problèmes qui se posent dans les téléprotections et l'incidence des différents types de protection et de liaisons de téléinformation.
- (d) de passer en revue les caractéristiques les plus importantes des diverses liaisons de téléinformation éventuellement disponibles.
- (e) de réunir les points ci-dessus en un rapport unique, sous une forme apte à promouvoir la compréhension, par les ingénieurs des télécommunications, des exigences qui régissent l'emploi de liaisons pour la protection et, par les ingénieurs des protections, des possibilités et des limitations des liaisons de téléinformation utilisées pour cet usage.

Ce rapport n'est qu'une première étape dans la promotion de cette compréhension. Des études et des travaux ultérieurs seront nécessaires, qui font l'objet des recommandations de la section 6.

1. - INTRODUCTION

1.1 - AIMS AND OBJECTIVES

The increasing sizes, complexity and power ratings of high voltage networks have emphasised the need for protection which is fast, selective and highly reliable. Protection is based on information derived from the power system at one or more points. When these points are in close proximity, e.g. within the confines of one station, it involves disciplines and techniques well known to protection engineers. Fast selective protection applied to circuits such as cables or lines, the terminals of which are geographically separate, requires the interchange of information between these terminals. Protective systems of this type involve the use of information links similar to, or the same as, those used for telecommunication.

In the design and application of protective systems using information links, it is desirable that protection engineers should appreciate the capabilities and limitations of such links and, at the same time, that telecommunication engineers understand the special requirements of protective gear. To improve this understanding and co-operation, Study Committees No. 4 and 14 of CIGRE appointed Working Groups to consider the questions arising in this branch of protective gear, which has been called 'teleprotection'. This report is the result of the work of the Working Groups and Section 10 gives the names of members concerned at various stages of preparation. The report is not necessarily complete in technical coverage and, because of lack of available information, it may not take full account of practice in various countries.

Its objectives are :

- (a) to review present practice for various types of protection based on transmission of information over a distance,
- (b) to consider some conditions which may arise on a power system which may lead to a need for the use of teleprotection,
- (c) to consider some of the problems which may arise in teleprotection and how these are influenced by different types of protection and information links,
- (d) to review the most important details of the various information links which may be available, and
- (e) to combine the above in a single report in a form which can promote the understanding by telecommunication engineers of the requirements governing the use of a link for protection purposes, and, by protection engineers, of the limitations and capabilities of information links when so used.

This report is a first stage in promoting this understanding, and there is necessarily a need for further study and work and this has led to the recommendations given in Section 6.

1.2 - RELATIONS GENERALES ENTRE LES PROTECTIONS ET LE RESEAU

Une protection et les disjoncteurs associés sont des éléments interdépendants d'une boucle de commande qui, à l'origine, détecte des conditions anormales sur le réseau puis, dans les étapes successives, assume des fonctions d'estimation et d'amplification. La boucle se referme par le déclenchement des disjoncteurs voulus. Dans le cas de la téléprotection, de l'information est échangée avec un point éloigné et l'information reçue est prise en compte dans la boucle de commande. Les gains en puissance de coupure sont considérables dans cette boucle et sont caractéristiques de toutes les associations de protections avec des disjoncteurs.

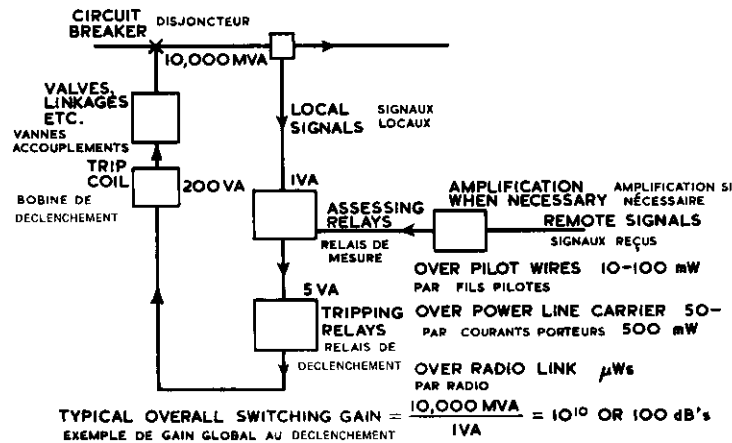


Figure 1.1 - Boucle de déclenchement constituée par la protection et le disjoncteur

La figure 1.1 donne des valeurs typiques de ces gains. Diverses grandeurs peuvent être détectées et les différentes façons dont elles sont combinées et prises en compte expliquent la grande variété de caractéristiques rencontrée dans les protections. En raison de l'interdépendance étroite des protections et des disjoncteurs on doit s'attendre à ce que la pratique des protections soit fortement influencée par la manière dont les disjoncteurs sont utilisés dans le réseau. Le fonctionnement correct de l'ensemble de la boucle dépend de la sécurité de fonctionnement de ses divers éléments, individuellement et collectivement. On trouvera dans la section 3.1 et l'annexe A2 des références aux difficultés que l'on éprouve à adapter entre elles les sécurités de fonctionnement d'éléments aussi disparates.

La configuration, la conception et le mode d'exploitation d'un réseau définissent, pour les protections, les exigences nécessaires pour un fonctionnement correct de ce réseau. Ces exigences conditionnent globalement l'extension et le prix de l'appareillage de protection, la forme des systèmes particuliers de protection et leurs mérites respectifs. Elles conduisent aussi à fixer des valeurs spécifiques au fonctionnement des divers dispositifs de protection, sous forme de temps ou de valeurs de réglage, de leur réponse à différents types de défauts ainsi que de probabilité ou de certitude dans la localisation correcte de la zone affectée d'un défaut. Il existe également des exigences concernant le comportement de la protection lorsque des appareils tels que des disjoncteurs ou des relais sont défaillants, ce qui impose de déclencher en d'autres points. C'est ce qu'on appelle souvent la "protection de réserve".

La nécessité d'employer des équipements utilisant des liaisons de téléinformation est déterminée par certaines exigences du réseau lui-même. La sélectivité, les valeurs, les temps et la sécurité de fonctionnement sont probablement les facteurs les plus importants dans la conception et la mise en œuvre des protections et on s'y référera constamment dans les sections suivantes. Lorsque la protection fait usage de liaisons de téléinformation, ces considérations s'appliquent non seulement aux dispositifs de protection mais aussi aux liaisons.

Une sécurité de fonctionnement élevée a toujours été de rigueur dans les protections et le sens dans lequel évoluent les réseaux la rend encore plus nécessaire. Lorsque la protection n'utilise pas de liaisons de téléinformation, l'expérimentation en laboratoire peut être poussée très loin et l'on peut effectuer une vérification minutieuse du principe de tous les

1.2 - GENERAL RELATIONSHIP BETWEEN PROTECTION AND THE POWER SYSTEM

Protection and associated circuit-breakers are interdependent components in a control loop which is initiated by detection of the abnormal conditions on the power system followed by successive stages of assessment and power gain. The loop is completed by the required tripping of circuit-breakers. In the case of teleprotection, information will be transmitted and received to and from a remote point and the received information will be assessed within the control loop. The switching-power gains in this loop are considerable and are characteristic of all protective gear and circuit-breaker combinations.

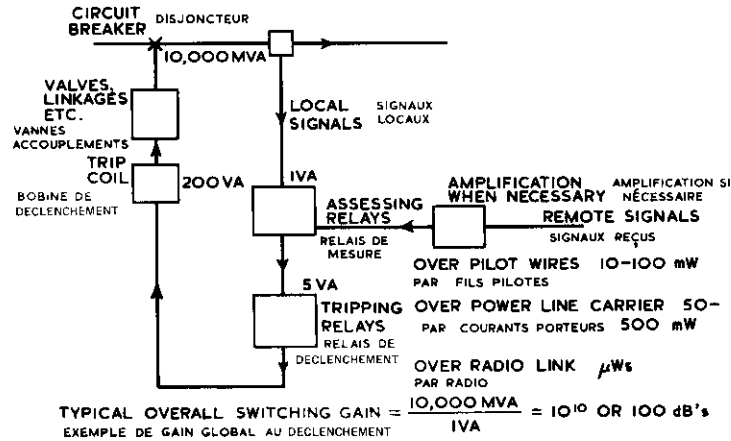


Figure 1.1 - Switching loop of protection and circuit-breaker

Typical figures are shown in figure 1.1. Various quantities may be detected and may be combined and assessed in different ways to give the variety of characteristics used in protection. With the close interdependence between protection and circuit-breakers, it is to be expected that protection practice is greatly influenced by the way in which circuit-breakers are used in the power system. The correct functioning of the overall loop is dependent on the reliability of the component elements, both individually and collectively. The difficulties of matching the reliability of such widely different components are referred to in Section 3.1 and Appendix A2.

The configuration, design and method of operation of the power system will determine the protection requirements necessary for the satisfactory performance of the power system. These requirements will govern the overall extent and cost of the protective gear, the form of individual types of protection and the merits of one type compared with another. They will also give rise to specific performance figures for various units of protection, as expressed by operating times and values, response to various fault conditions, and the degree and/or certainty of selecting the faulty zone correctly. There will also be requirements which are concerned with the behaviour of the protection when equipment such as circuit-breakers or relays may fail to operate and thus give rise to the need for tripping at other locations. This is often known as 'back-up' protection.

Some of the requirements of the power system will dictate whether or not equipments based on the use of information links are necessary. Selectivity, operating times and values, and reliability, are probably the most important factors in the design and application of protection and these will be repeatedly referred to in subsequent sections. Where protection uses information links, these aspects will apply not only to the protective gear but also to the information link.

High reliability requirements are traditionally associated with protection and the trends in modern power system developments emphasise this need. With protection not requiring information links, a high degree of testing can be achieved in the laboratory and close control of all the component principles can be exercised during production and installation. Reliability

éléments en cours de fabrication et à la mise en service. La sécurité de fonctionnement est en général liée aux principes de conception de la protection et à la qualité des matériaux et composants utilisés. Pour les protections utilisant des liaisons de téléinformation, il n'est pas toujours possible d'attendre le même degré de réalisme dans les essais et les caractéristiques des liaisons ne sont pas aussi faciles à définir ou à vérifier. Dans ce cas, la sécurité de fonctionnement globale dépend étroitement de celle de la liaison. Cette sécurité de fonctionnement est en général appréciée selon d'autres critères que ceux qui s'appliqueraient à son emploi pour les télécommunications. Les liaisons utilisées pour la protection restent souvent sans fonctionner pendant de longues périodes et peuvent être appelées à fonctionner correctement en même temps que se produisent des perturbations dues à la foudre, aux courants de défaut ou à l'élévation du potentiel de terre. La courte durée de la période de fonctionnement d'une protection la rend particulièrement susceptible à des perturbations extérieures de ce genre. Si l'on veut obtenir une sécurité de fonctionnement élevée, les systèmes de protection utilisant des liaisons de téléinformation doivent être conçus en tenant compte des variations de toutes sortes dans les caractéristiques et le fonctionnement des liaisons ainsi que des perturbations extérieures auxquelles elles sont soumises. L'estimation réaliste de la sécurité de fonctionnement des liaisons utilisées pour la protection paraît justifier une étude plus poussée, afin d'obtenir plus d'observations et de résultats (voir Section 3.1 et Annexe A2).

De ce qui précède, il ressort que le choix et la mise en œuvre des systèmes de protection dépendent beaucoup de la conception et de l'exploitation du réseau lui-même. C'est pourquoi il est souhaitable de s'en préoccuper dès les projets préliminaires. Dans la coordination qui a lieu à ce stade, on peut inclure aussi l'ensemble du système de transmissions et de commande sur lequel peut reposer le réseau et qui a une influence sur la protection. Le prix des dispositifs de protection est généralement faible devant celui des ouvrages qu'ils protègent. Le tableau 1.1 ci-dessous indique les coûts relatifs de différents ouvrages, et des dispositifs et appareillages annexes de protection. Indépendamment du prix de l'ouvrage, il faut également tenir compte de son importance pour le fonctionnement du réseau. De même, pour les protections utilisant des liaisons de téléinformation il faut tenir compte du coût de ces liaisons qui souvent ne sont qu'une partie d'un ensemble de télécommunications déjà prévu pour le réseau.

TABLEAU N° 1-1
COÛT DE LA PROTECTION

Matériel	Facteur de coût relatif approximatif		
	100 kV - 150 kV	220 kV - 330 kV	400 kV - 500 kV
Lignes aériennes à 2 ternes - 100 km	0,65 - 1,1	1,2 - 1,6	2,4 - 4,2
Câbles souterrains - 2 ternes - 10 km	0,65 - 1,8	2,0 - 2,7	3,5 - 6,5
Appareillage de coupure Ø	0,05 - 0,1	0,1 - 0,2	0,23 - 0,4
Transformateurs de courant Ø	0,005 - 0,01	0,01 - 0,02	0,02 - 0,04
Transformateurs de tension Ø	0,003 - 0,006	0,007 - 0,014	0,01 - 0,02
Relayage et installation Ø	0,005 - 0,01	0,005 - 0,01	0,007 - 0,014

De nombreux systèmes de protection assurent par eux-mêmes un degré élevé de protection mais il est souvent nécessaire d'en combiner plusieurs pour couvrir toute la gamme des défauts susceptibles de se produire en pratique. Il est inévitable que certains de ces systèmes se recouvrent et, dans une certaine mesure, se contrôlent mutuellement. Il est des cas où l'on installe des systèmes de protection qui, dans leur fonctionnement, doublent ou recouvrent partiellement d'autres systèmes. On le fait pour obtenir une plus grande sécurité dans l'élimination d'un défaut que celle que procurerait un seul équipement.

La majeure partie des systèmes de protection est destinée à couvrir des défauts qui se produisent dans une zone déterminée, généralement limitée par des disjoncteurs. Comme on le verra plus loin, la plupart de ces systèmes sont instantanés et leur fonction principale est de décider si un défaut est à l'extérieur ou à l'intérieur de l'ouvrage protégé et dans le deuxième cas, de déclencher les disjoncteurs pour isoler le circuit protégé.

Dans d'autres cas, la décision que l'on attend de la protection n'est pas aussi nettement définie parce qu'elle est censée répondre à des défauts se produisant sur une fraction importante du réseau. Une telle protection est conçue pour traiter de défauts se produisant en des

is generally controlled by the design principles on which protection is based and the soundness of the materials and components used. In protection using information links the same degree of realistic testing is not always possible nor are the characteristics of the information link so easily defined or controlled. In this latter case, the overall reliability will be very dependent on the reliability of the information link. This assessment of the reliability of the information link will generally be on a different basis to that which would apply if it were used for telecommunication. Links used for protection may often be inoperative for long periods and may be called upon to function correctly at the same time that interference from lightning, fault currents, and rise of earth potential, may occur. The fast, short duration functional period of protection makes it particularly susceptible to extraneous interference of this type. If high reliability is to be achieved, protection systems using information links must be based on design principles which take into account the many varying properties and performance of the link and the extraneous interference to which it is subjected. The realistic assessment of the information link in terms of reliability when used for protection is considered worthy of further study in order to obtain more information and experience (see Section 3.1 and in Appendix A2).

From the above it will be apparent that the choice and application of protection systems are greatly dependent on the design and operation of the power system itself and it is desirable to take account of protection in the early planning stages. This early planning and co-ordination may also be extended to the overall communication and control system on which the power system may be based and which may affect protection. The cost of the protective gear is generally not high in relation to the cost of the equipment which is being protected. Some typical relative costs of various circuits, switchgear and protection items are shown in Table 1-1.

TABLE N° 1-1
COSTS OF PROTECTION

Equipment	Approximate Relative Cost Factors		
	100 kV - 150 kV	220 kV - 330 kV	400 kV - 500 kV
Overhead lines Double circuit - 100 km	0.65 - 1.1	1.2 - 1.6	2.4 - 4.2
Underground cables Double circuit - 10 km	0.65 - 1.8	2.0 - 2.7	3.5 - 6.5
Switchgear /	0.05 - 0.1	0.1 - 0.2	0.23 - 0.4
Current transformers /	0.005 - 0.01	0.01 - 0.02	0.02 - 0.04
Voltage transformers /	0.003 - 0.006	0.007 - 0.014	0.01 - 0.02
Relay equipment and accommodation /	0.005 - 0.01	0.005 - 0.01	0.007 - 0.014

Apart from the cost of the protected unit, consideration should be given to its functional importance in relation to the power system. It is equally important in protection using information links to take into account the cost of the information link which may often be a channel in some overall communication network provided for the power system as a whole.

Many types of protection systems can provide a wide degree of protection but it is often necessary to have a number of systems which combine together to cover the range of faults which might occur in practice. It is inevitable that some of these systems will overlap and to some extent, check each other. In some cases, a number of protection systems may be fitted which, in their functioning, duplicate or overlap. This is done to achieve a higher degree of certainty in clearing a fault than would be possible with a single equipment.

The majority of protective systems are intended to respond to faults within a precise zone, which is generally bounded by circuit-breakers. As will be seen later, most of these systems are "instantaneous" and their basic function is to decide whether a fault is external to the protected unit or internal to it, and in the latter case, to trip the circuit-breakers and so isolate the protected zone.

In other cases, the decisions required of protection are not so well defined because the protection is required to respond to faults over a considerable area of the power system. Such protection is intended to provide for faults occurring at positions not covered by the selective

points non couverts par la protection sélective dont il était question plus haut, ou pour pallier la défaillance de cette protection. Cette défaillance peut concerner la protection elle-même ou les disjoncteurs qui lui sont associés. Une protection de ce type est habituellement appelée "protection de réserve" et fait généralement appel à des temporisations pour obtenir une sélectivité partielle.

Les protections de type sélectif font en général usage de liaisons de téléinformation mais jusqu'à maintenant ces liaisons sont peu utilisées pour les protections de réserve. Toutefois, les performances accrues que l'on demande aux protections de réserve pourraient conduire à un emploi plus large de ces liaisons (voir Section 1.6. 11).

Liaisons de téléinformation

Circuit pilote privé	- 10 km : 0,003	- 0,005*
Circuit P.T.T. en location	- 10 km : 0,0001	- 0,0002 par an
Courants porteurs sur ligne	: 0,01	- 0,02*
Liaison radio	: 0,01	- 0,02*

Nota : (a) Ø Coût pour les deux extrémités

(b) * Le coût imputé à la protection dépend de l'utilisation éventuelle de la liaison pour d'autres usages.

1.3 - PRINCIPES DE LA PROTECTION

1.3.1 - Terminologie

Comme la plupart des branches spécialisées de la technique, les protections se sont constitué un vocabulaire dont les termes sont tout à fait explicites pour ceux qui les pratiquent. Ces termes diffèrent d'un pays à l'autre et il est difficile de les traduire avec précision. Dans un but de normalisation, les termes utilisés dans ce document seront ceux donnés par le Vocabulaire de la C.E.I. ou seront composés de mots qui s'y trouvent. Les termes les plus courants sont rappelés dans le Glossaire de la Section 8.

1.3.2 - Concepts de base de la protection

La protection détecte et réagit à des conditions anormales du réseau provenant de surcharge, de perte de synchronisme ou de défauts sur les circuits primaires, en prélevant de l'information en un ou plusieurs points du réseau. L'information ainsi obtenue est en général sous forme de signaux électriques ayant une relation avec les conditions électriques du réseau au point de raccordement. Dans certains cas, l'information peut découler des effets des conditions primaires, par exemple le déplacement de l'huile ou la pression de gaz dans les cuves de transformateurs, les dispositifs sensibles à la température dans les transformateurs et les machines, et la détection photo-électrique des arcs.

Dans le cas de signaux électriques, les grandeurs concernées sont la tension, le courant, ou l'une et l'autre, leur relation de phase ou une combinaison de ces grandeurs telle que la puissance ou l'impédance. Les grandeurs électriques sont disponibles sous forme polyphasée et ce fait est important car il peut faciliter la détection de conditions anormales, sauf dans le cas de défauts triphasés équilibrés. Ces derniers, quoique peut fréquents, peuvent avoir des conséquences graves et posent quelques problèmes dans la protection car ils peuvent être difficiles à distinguer des conditions normales en charge. La Section 1.5. résume les différents types de défauts et les conditions anormales qui peuvent se produire sur un réseau et souligne l'importance de certains aspects, par exemple l'emplacement du défaut et le type d'équipement considéré.

L'information de nature électrique est obtenue, en un point du réseau par l'intermédiaire d'appareils tels que les transformateurs de courant ou de tension dont les caractéristiques, particulièrement en régime transitoire, ont une influence sur la conception et le fonctionnement de la protection et qui font ainsi partie intégrante de l'ensemble du système de protection. Dans certains cas, comme celui des courants porteurs sur ligne d'énergie, l'appareil qui fournit l'information, c'est-à-dire le transformateur capacitif de tension, peut faire également partie de la liaison de téléinformation.

Les protections peuvent se diviser en deux grandes catégories :

- (a) Celles qui sont basées sur des informations prélevées en un seul point, voisin du disjoncteur commandé. Leur sélectivité en ce qui concerne l'emplacement du défaut est limitée par nature. On les qualifie de "Protections sélectives dépendantes".

protection referred to above or to provide for conditions of a failure to clear a fault by such selective protection. This may be due to a failure to trip by the protection or by its associated circuit-breakers. Protection of this type is usually called 'back-up' protection and it generally uses time delays to obtain partial selectivity.

Protection of the selective type is generally associated with the use of information links but at present, there is only limited use of these for back-up protection. However, the developing requirements for higher performance from back-up protection may lead to a wider use of information links for this purpose (see Section 1.6.11).

Information Links

Privately owned pilot wires - 10 km	: 0.003 - 0.005*
Rented PTT pilot wires - 10 km	: 0.0001 - 0.0002/annum
Power line carrier	: 0.01 - 0.02*
Radio link	: 0.01 - 0.02*

Note : (a) / Equipment costs are for both ends of one circuit

(b) * Costs allocated to protection depend on whether information link is used for other purposes.

1.3 - SOME PRINCIPLES OF PROTECTION

1.3.1 - Terminology

Like most specialised branches of engineering, protection has acquired a vocabulary of terms which are very explicit to those familiar with them. These terms differ from country to country and are difficult to translate accurately. For the sake of standardisation, the terms used in this document will be those given in the appropriate I.E.C. Vocabulary or will be composed of words contained in it. The most common terms used are summarised in the Glossary, given in Section 8.

1.3.2 - Basic Concepts of Protection

Protection detects and responds to abnormal conditions on the power system arising from overload, system instability, or faults on the primary circuit by deriving information from one or more points on the power system. The information so obtained is generally in the form of electrical signals related to the electrical conditions on the power system at the relaying position. In some cases, the information may be derived from the effects of the primary condition, for example ; oil movement and gas pressure in transformer tanks, temperature sensing devices in transformers and machines, and the photo-electric detection of arcs.

In the case of electrical signals, the quantities involved are those of voltage and/or current, their phase relationship, or combination of these such as power or impedance. The electrical quantities exist in a polyphase form and this is an important characteristic because it can facilitate the detection of abnormal conditions except in the case of balanced three-phase faults. The latter, although infrequent, may be severe in their effects and they can cause some problems in protection and may be difficult to distinguish from load conditions. Section 1.5 summarises the different kinds of faults and abnormal conditions which may occur on a power system and indicates the importance of some aspects, for example, the fault position and type of equipment involved.

Electrical information is obtained from a point on the power system through devices such as current - and voltage - transformers and the characteristics of these, especially in the transient state, may influence the design and performance of the protection and thus become an integral part of the overall protective system. In some cases, such as power line carrier, the means of deriving information, e.g. voltage-transformers, may also be an integral part of the information link.

Protection may be divided into two broad categories :

- (a) Those based on information from only one point, local to the controlled circuit-breaker. These are inherently limited in selectivity of fault position and are termed "relatively selective" systems (sometimes called non-unit systems).

- (b) Celles qui sont basées sur des informations provenant de toutes les extrémités du circuit protégé. Elles sont par nature totalement sélectives (discriminatives) et ne fonctionnent que pour des défauts situés dans la zone protégée, telle que la définissent ses différentes extrémités. On les qualifie de "Protections Sélectives indépendantes".

Ces deux catégories sont définies avec plus de précision ci-dessous.

1.3.3 - Systèmes sélectifs dépendants

Lorsqu'une protection est basée sur des informations prélevées en un seul point du réseau, elle répond à des valeurs, de tension ou de courant par exemple, qui résultent de défauts qui peuvent être situés en quantité de points du réseau. L'acte de décision d'une telle protection se fonde donc obligatoirement sur une valeur critique du courant ou d'une grandeur associée telle que le déphasage. La mesure d'une telle grandeur ne peut jamais être exacte avec les relais utilisés dans la pratique. Même avec une mesure exacte, il serait impossible de localiser avec précision le défaut car la valeur mesurée dépend de l'état du réseau. Ainsi, les protections basées sur des informations prélevées en un seul point du réseau sont obligatoirement et par nature non-sélectives en ce qui concerne l'emplacement du défaut, c'est-à-dire que la zone protégée n'est pas définie comme le montre la figure 1.2.

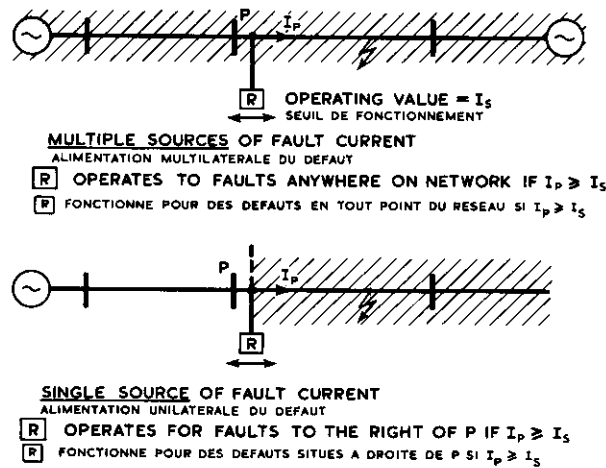


Figure 1.2 - Protection à maximum de courant simple

Il y a quelques exceptions à cette règle lorsque la structure même du réseau permet une localisation exacte, même avec des mesures relativement imprécises. On peut en citer comme exemples :

La protection à maximum de courant, à réglage élevé, du circuit d'alimentation d'un transformateur (Fig. 1.3).

La protection contre les défauts à la terre d'un enroulement triangle (Fig. 1.4).

Une forme simple de protection, basée sur la détection d'une valeur critique du courant, par exemple, est donc d'un usage limité et il est nécessaire, particulièrement dans les réseaux interconnectés, d'introduire diverses dispositions supplémentaires pour accroître la sélectivité. Ces dispositions peuvent être les suivantes :

- (a) L'introduction d'une temporisation qui permet de lier la sélectivité au temps de fonctionnement (Fig. 1.5).

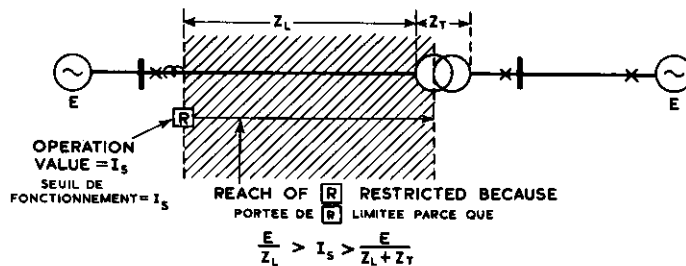


Figure 1.3 - Protection à maximum de courant de l'ensemble d'un transformateur et d'une liaison, à seuil élevé

- (b) Those based on information from all the terminals of the protected zone. These are inherently fully selective (discriminative) and operate only for faults precisely within the zone of protection, as defined by the various terminals. These have been termed "absolutely selective" systems (sometimes called units systems).

These two groups are described in more detail as follows.

1.3.3 - Relatively Selective Systems

When a protection is based on information from a single point on the system it responds to the conditions of, say, voltage and current which result from faults over a wide range of positions on the system. The decisive action of such protection must, therefore, depend on critical magnitude of current or of some other correlated quantity such as phase angle. Such measurement of magnitude can never be precise when using practical relays. Even with precise measurement of magnitude it would be impossible to obtain exact location of a fault because the magnitude would depend on the system conditions. Thus protection based on information from one point on the system must inherently be non-selective in terms of the fault position, i.e. the zone of protection is indefinite, as shown in figure 1.2.

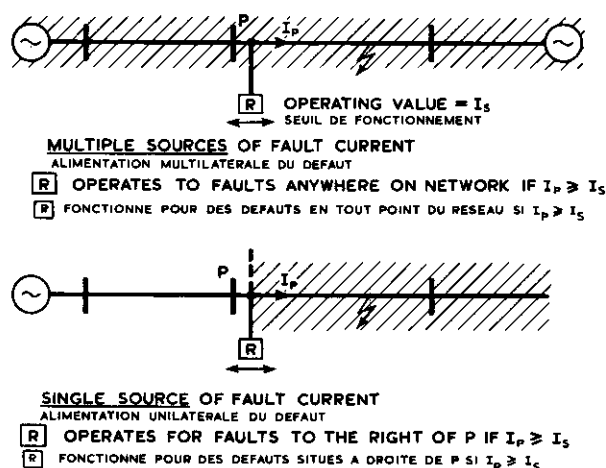


Figure 1.2 - Simple overcurrent protection

There are some particular exceptions to this where the system configuration itself may enable exact location to be made even with relatively inexact measurement of magnitude. Examples of this are :

High set overcurrent protection on a transformer feeder, (Fig. 1.3).

Earth fault protection on a delta winding, (Fig. 1.4).

A simple form of protection based on the detection of, say, a critical value of current, is therefore of limited use and it is necessary, particularly on interconnected power systems, to introduce various additional features to improve selectivity for faults in different parts of the system. These additional features are generally one or more of the following :

- (a) The introduction of a time delay which can then enable selective operation to be controlled by operating time (Fig. 1.5).

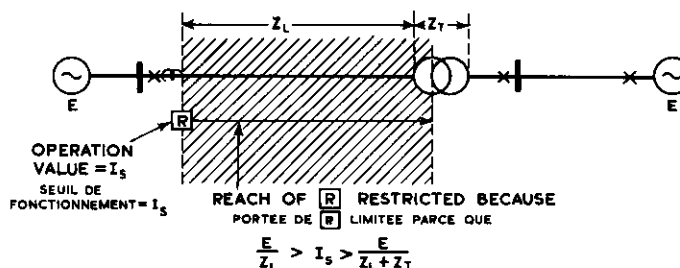


Figure 1.3 - High set overcurrent protection on transformer feeder

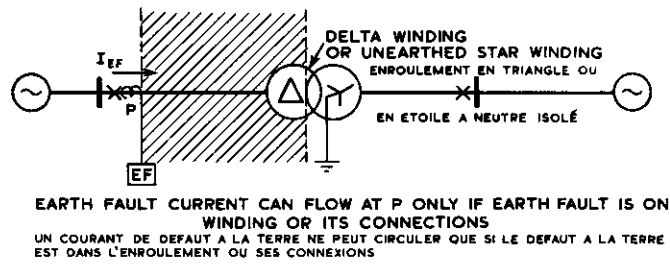


Figure 1.4 - Limitation de la zone couverte par la protection par le mode de couplage ou le branchement du transformateur

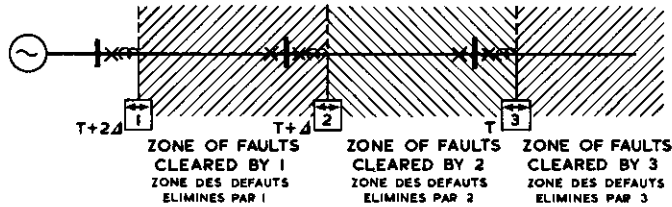


Figure 1.5 - Sélectivité par échelonnement des temps de fonctionnement des relais

- (b) L'emploi d'une information supplémentaire de tension en rapport avec le courant. La tension au point de raccordement des relais constitue une référence pour la définition de l'angle relatif du courant de défaut en ce point et permet à la protection de décider si le défaut se trouve d'un côté ou de l'autre de l'emplacement des relais (Fig. 1.6).

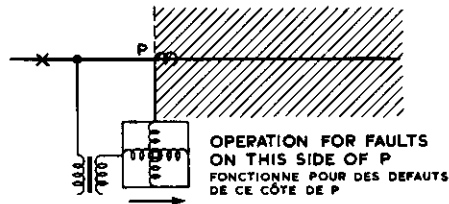


Figure 1.6 - Sélectivité par dispositif directionnel

- (c) La prise en considération de divers courants et tensions, à l'aide de dispositifs comparateurs, qui permet de déterminer (avec la précision du dispositif) si le défaut se trouve en deçà ou au-delà d'une distance donnée de l'emplacement des relais. C'est ce que l'on appelle la protection de distance et les relais employés peuvent présenter divers degrés de complexité, allant jusqu'à tenir compte de la relation de phase entre les grandeurs en cause (Fig. 1.7). La détection de la distance du défaut est habituellement basée sur la mesure de l'impédance primaire ou de l'une de ses composantes, résistance ou réactance. La conception des relais correspondants se fonde sur leurs caractéristiques dans le plan complexe. On y reviendra dans la Section 2.3.

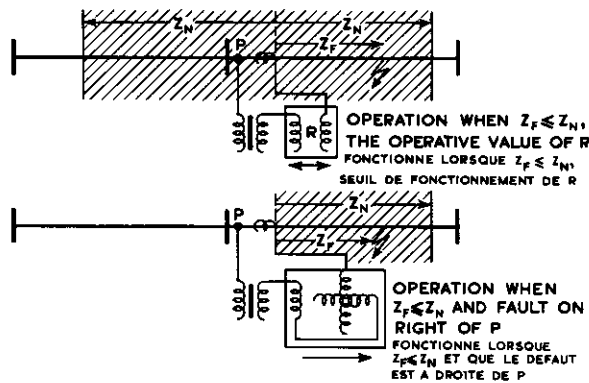


Figure 1.7 - Sélectivité par mesure de distance

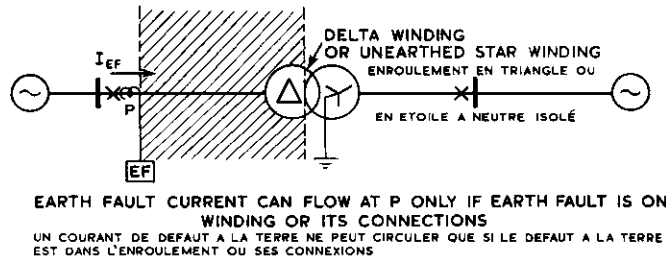


Figure 1.4 - Restriction of zone protection by transformer connection

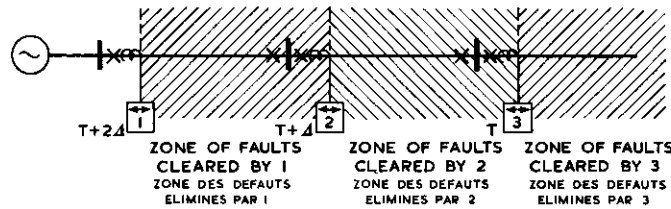


Figure 1.5 - Selectivity by grading of relay operating times

- (b) The use of the additional information of voltage in combination with current. The voltage at the relaying point forms a reference for defining the relative phase angle of the fault current across the relaying point and permits the protection to assess whether the fault lies on one side of the relaying position or the other (Fig. 1.6).

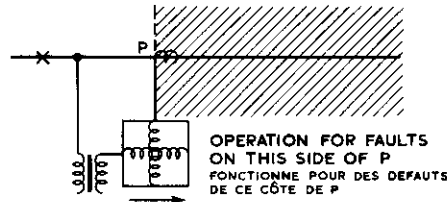


Figure 1.6 - Selectivity by direction feature

- (c) The assessment of various voltage and current signals in comparing devices by which it is possible to determine (within the accuracy of the device) whether the fault lies within or beyond a given distance from the relaying point. This is known as Distance Protection and the relays involved may have varying degrees of complexity, including dependence on the phase relationships of the quantities involved (Fig. 1.7). The detection of the distance to the fault is usually based on the measurement of the primary impedance or some related component of it, e.g. reactance or resistance. The definition of such relays is usually based on their characteristics in the complex plane. These will be referred to again in Section 2.3.

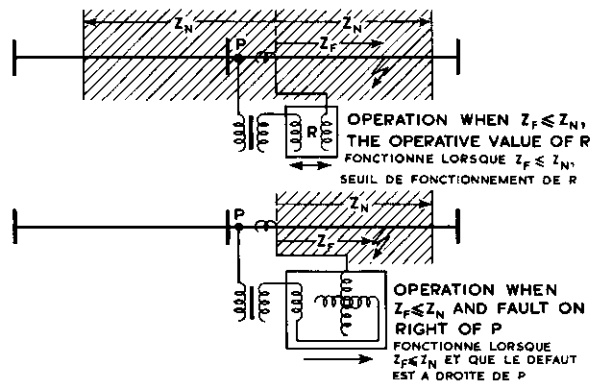


Figure 1.7 - Selectivity by distance measurement

L'emploi de l'une ou de plusieurs de ces dispositions procure divers degrés de sélectivité mais en aucun cas la localisation ne peut être absolument précise. C'est la raison de l'emploi du terme "sélectifs dépendants". Il est important d'être conscient des limites inhérentes à ces protections car la recherche d'une sélectivité plus grande que celle qui peut être ainsi obtenue implique l'échange d'informations entre au moins deux emplacements de relais et, si ces points sont géographiquement séparés, l'emploi de liaisons de téléinformation.

1.3.4 - Systèmes sélectifs indépendants

La sélection précise repose sur l'acquisition d'informations provenant des diverses extrémités du circuit protégé et la prise en considération de ces informations doit permettre de juger avec certitude si le défaut se trouve ou non sur le circuit protégé. Comme ce jugement ne fait pas appel à un échelonnement dans le temps, cette classe de protections est qualifiée "d'instantanée". Il existe naturellement un temps de fonctionnement fini, mais qui est dû au temps minimal nécessaire à un jugement précis compte tenu du caractère transitoire éventuel du défaut et des conditions anormales sur le réseau qui l'accompagnent. Le temps global de fonctionnement des protections de ce type est de 1 à 5 périodes de la fréquence industrielle. On voit par là que les systèmes sélectifs indépendants procurent une élimination rapide des défauts. La précision en sélectivité repose davantage sur les critères de jugement que sur l'amplitude des grandeurs mesurées. Il existe naturellement une valeur minimale de réglage pour les défauts sur le circuit protégé mais elle est généralement choisie inférieure aux conditions minimales de défaut susceptibles d'apparaître sur un réseau donné.

L'échange d'informations est l'élément essentiel de ces systèmes de protection. Lorsque le circuit protégé est localisé, c'est-à-dire que la distance entre ses extrémités est courte, par exemple 50 à 500 m, les canaux sur lesquels s'échange l'information sont simples et consistent habituellement en un réseau de conducteurs auxiliaires (Fig. 1.8). Dans ce cas, il n'y a pas de difficultés particulières à transmettre l'information et il est commode de concentrer les fonctions en un seul point d'où est commandé le déclenchement de tous les disjoncteurs associés aux extrémités du circuit protégé.

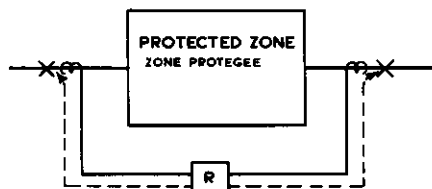


Figure 1.8 - Sélection précise - cas d'une zone localisée

Dans le cas des lignes ou des câbles d'énergie, les disjoncteurs des extrémités du circuit protégé peuvent se trouver à des distances considérables et la transmission de l'information pose les mêmes problèmes que ceux qui se rencontrent normalement dans les télécommunications. Des conducteurs auxiliaires (fils pilotes) peuvent être utilisés dans ce cas mais on doit souvent faire appel à d'autres liaisons de téléinformations telles que les courants porteurs sur lignes d'énergie ou les liaisons radio. Une difficulté supplémentaire provient du fait que le déclenchement doit s'effectuer aux diverses extrémités, et qu'il est nécessaire qu'il y ait un ensemble de relais à chaque extrémité pourvue d'un disjoncteur (Fig. 1.9).

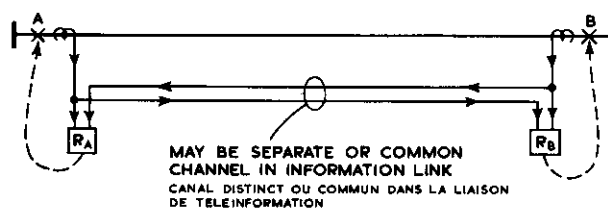


Figure 1.9 - Sélection précise - cas d'une zone à extrémités distantes

The use of one or more of these arrangements give varying degrees of selectivity but in no case are they absolutely precise in their location. This is the reason for using the term "relatively selective". It is important to appreciate this inherent limitation of such protection because the requirement for selectivity greater than that so obtainable requires the interchange of information between two or more relaying points and, in the case of relaying points geographically separate, this requires information links.

1.3.4 - Absolutely Selective Systems

Precise selection is based on the principles of deriving information from the various terminations of a protected zone and the assessment of this information should provide a reliable decision as to whether the fault is within the protected zone or not. As such assessments are not based on time grading, this class of protection is termed "instantaneous". There is, of course, a finite time of operation but this is based on the minimum time required for accurate assessment bearing in mind the possible transient nature of the fault and the abnormal conditions on the system which accompany it. Overall operating times of protection in this category are of the order of 1 - 5 cycles of power frequency. It can be seen that absolutely selective systems are associated with high speed clearance of faults. The precision of selectivity is obtained by the principles on which the assessment is made rather than on the magnitude of the quantities measured. There is, of course, some minimum operating value for faults within the protected zone but this is usually chosen below the minimum fault conditions which are likely to occur on a particular power system.

The interchange of information is an essential part of these protective systems. Where the protected zone is localised, i.e. the distance between the terminals is short, say 50 - 500 m, the channels over which information is interchanged are simple and usually formed by an auxiliary conductor system (Fig. 1.8). In this case there are no particular problems involved in transmitting information and it is practical to use a single assessing position which can control tripping of all the circuit-breakers associated with the terminals of the protected zone.

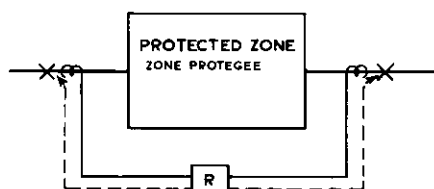


Figure 1.8 - Precise selection - localised zone

In the case of lines or cables, the circuit-breakers controlling the terminals of the protected zone can be separated by considerable distances, and the transmission of information involves those problems normally met with in telecommunication. Auxiliary conductors (pilot wires) are applicable for such cases but often other information links, such as power line carrier and radio circuits, must be used. A further difficulty arises from the fact that the tripping is required at the separate terminals and it is necessary to have a relaying point at each terminal provided with a circuit-breaker (Fig. 1.9).

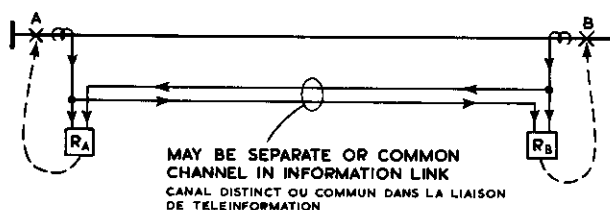


Figure 1.9 - Precise selection - remote terminals

1.4 - METHODES DE BASE POUR L'UTILISATION DES LIAISONS DE TELEINFORMATION

Il y a un certain nombre de façons d'utiliser une liaison de téléinformation pour réaliser une protection sélective rapide. En pratique, de nombreux facteurs influent sur le choix. Ils seront passés en revue au cours de la discussion des différentes formes de protection et de liaisons de téléinformation.

Les méthodes d'emploi de ces liaisons peuvent être classées, de façon générale, comme suit :

- (a) Celles dans lesquelles des informations quantitatives sont échangées entre extrémités. Ce sont par exemple les protections différentielles longitudinales utilisant des fils pilotes et où l'information est l'amplitude et la phase des courants, ou les protections par comparaison de phase à courants porteurs où l'information est le déphasage seul.
- (b) Celles dans lesquelles l'information consiste en un ordre transmis d'une extrémité à une autre, indiquant l'état d'un organe tel qu'un relais à l'extrémité émettrice. Dans cette catégorie, il existe deux possibilités selon que l'ordre est de "déclencher" ou de "ne pas déclencher".

Une autre façon de classer les méthodes d'emploi de ces liaisons est la suivante :

- (c) Celles dans lesquelles l'information est essentielle pour le fonctionnement complet de la protection. Elles comprennent la première catégorie ci-dessus et celles de la seconde catégorie où l'ordre est de "ne pas déclencher", par exemple les verrouillages.
- (d) Celles dans lesquelles l'information n'a qu'un rôle additionnel. Elles comprennent, dans la seconde catégorie, celles où l'ordre est de "déclencher", par exemple le déclenchement interdépendant, le déclenchement conditionnel et l'accélération. Dans ces applications, certaines fonctions de la protection subsisteraient en cas de défaillance de la liaison.

L'étude détaillée des protections dans la section 2 est basée sur la première de ces classifications. En effet, il est difficile de dire avec rigueur si un emploi particulier d'une liaison de téléinformation, même pour la transmission d'un ordre de déclenchement, a un rôle essentiel ou additionnel.

1.5 - LES DEFAUTS SUR LE RESEAU

Les ingénieurs des télécommunications ne sont pas toujours familiarisés avec certains aspects des défauts et des conditions anormales qui peuvent survenir dans les réseaux, ni en mesure d'apprécier l'influence de ces conditions sur le choix et le comportement des protections. Cette influence peut se répercuter sur les liaisons de téléinformation lorsqu'elles sont utilisées pour la protection. Le présent chapitre résume, à l'intention des ingénieurs des télécommunications, quelques-unes des caractéristiques de ces conditions anormales sous l'aspect de leurs effets à fréquence industrielle. Ces conditions, ainsi que certaines conditions normales d'exploitation engendrent également, à fréquence plus élevée, des effets qui sont résumés au chapitre 3.1.

Les conditions visées peuvent se répartir en deux classes principales :

- (a) Les défauts - qui sont caractérisés par la destruction des caractéristiques de différents milieux isolants du réseau.
- (b) Les conditions anormales - qui peuvent se produire sans détérioration de l'isolement mais entraîner des conditions intolérables ou dangereuses.

Tout en usant de cette répartition générale, il faut noter que les conditions de l'une de ces deux classes peuvent engendrer celles de l'autre et vice versa.

1.5.1 - Défauts

Ils peuvent se produire entre conducteurs, entre conducteurs et terre, et être dus à la détérioration du milieu isolant, qu'il soit détruit par une contrainte exagérée ou une action physique ou qu'il soit traversé accidentellement par des trajets métalliques ou conducteurs. Dans tous ces cas, le défaut se produit en un point bien défini du réseau et peut donc être éliminé par le fonctionnement de la protection et des disjoncteurs. Comme de tels défauts

1.4 - BASIC METHODS OF USING INFORMATION LINKS

There are a number of ways of using an information link to achieve high speed selective protection. Many factors will affect the choice in practice and these will be dealt with when particular forms of protection and different forms of information links are discussed.

The methods of using information links may be broadly classified as follows :

- (a) Those in which quantitative information is interchanged between the various terminals. Examples of this are longitudinal differential protection using pilot wires where the information may be both magnitude and phase of currents, and phase-comparison carrier protection where the information is phase angle only.
- (b) Those in which the information is in the form of a command from one terminal to another which indicates the state of some device, such as a relay, at the sending terminal. Within this class, there are two possibilities, namely those in which the command is to "trip" and those in which it is "not to trip".

Another way of classifying the above uses of an information link is :

- (c) Those in which the information is essential to the complete functioning of the protection. This would include the first category above and those in the second category in which the command is "not to trip", e.g. a blocking function.
- (d) Those in which the information link has a supplementary function. These include those in the second category in which the command is to "trip". Examples of this are inter-tripping or transfer tripping, permissive tripping and protection acceleration. In these applications some functions of the protection would still remain even if the information link failed.

The detailed consideration of protection in Section 2 is based on the former method of classification. It is difficult to specify whether a particular use of an information link, even for a tripping command, is essential or supplementary.

1.5 - FAULTS ON THE POWER SYSTEM

Telecommunication engineers may not be so familiar with some aspects of faults and abnormal conditions which may occur on power systems or appreciate some of the influences which such conditions have on the choice and behaviour of protection. These influences may extend to an information channel when it is used for protection. This section summarises, for telecommunication engineers, some of the relevant characteristics of abnormal conditions mainly in terms of power frequency effects. These conditions, together with some normal operational conditions, also create effects at higher frequencies and these are summarised in Section 3.1.

There are two main classes of conditions which are relevant.

- (a) Faults - which are characterised by the loss of the basic insulation media of the power system.
- (b) Abnormal conditions - which can occur without failure of insulation, but which may produce intolerable or dangerous conditions.

While using these broad divisions, it should be noted that either type of condition might arise from or produce the other.

1.5.1 - Faults

These may be between conductors or between conductors and earth and be due to deterioration of the insulating medium, by its destruction by overstressing or physical damage, or by accidental metallic or conducting paths occurring across the insulation. In all these cases, the failure takes place at a specific point on the power system and can thus be isolated by the operation of associated protection and circuit-breakers. Since such failures of in-

d'isolement ont pour effet une dissipation considérable d'énergie, la stabilité normale du réseau subit un choc qui la perturbe. De plus, la dissipation d'énergie étant localisée, il peut en résulter des dommages importants à l'emplacement du défaut. Ces deux actions sont directement liées à l'amplitude du courant de défaut et à sa durée.

Le court-circuit métallique de l'isolement est peu fréquent et est dû habituellement à l'oubli de connexions de mise à la terre lors de la remise sous tension d'un circuit. Cependant, ces défauts sont très souvent triphasés et placés à proximité d'un jeu de barres. Ils peuvent donc perturber considérablement le réseau. Ce sont en général des défauts permanents.

Les défauts affectant les conducteurs aériens n'entraînent pas obligatoirement des dommages permanents et, si la cause du défaut n'est que passagère, comme par exemple la foudre, le trajet du défaut peut se désioniser après isolement du circuit, lequel peut alors être réenclenché avec succès.

Les défauts dus à la détérioration d'un isolant solide ou liquide, ou gazeux en vase clos, sont en général permanents et, en raison du confinement de l'énergie dissipée, il y a risque d'incendie ou d'explosion. Il n'est, en général, pas possible de réenclencher et l'élimination doit être particulièrement rapide. Les défauts à l'air libre peuvent persister plus longtemps sans dommages sérieux autres que le choc sur le réseau mais les défauts durant une seconde ou plus risquent de s'étendre aux autres conducteurs et là encore une élimination rapide est souhaitable. La plupart des défauts affectant un réseau se produisent sur des conducteurs aériens, principalement sur les lignes aériennes. La majorité de ces défauts sont des défauts monophasés à la terre dont beaucoup ont un caractère fugitif c'est-à-dire qu'ils permettent de réenclencher avec succès. Le tableau 1-2 donne un exemple d'analyse de la nature des défauts.

TABLEAU 1-2

EXEMPLE D'ANALYSE DES DEFAUTS SUR UN RESEAU A HAUTE TENSION

Type de défauts	% du total
Phase - terre	83
Biphasé isolé	9
Biphasé - terre	5
Triphasé isolé	1,5
Triphasé - terre	1,5

TABLEAU 1-2 (suite)

Ouvrages	% du total
Lignes aériennes et câbles	70
Transformateurs de puissance	20
Générateurs/Transformateurs	6,5
Appareillage de coupure et jeux de barres	3,5

Proportion courante de réenclenchements réussis = 70 %

Les défauts non-équilibrés peuvent évoluer en défauts triphasés s'ils ont une certaine durée, par exemple 0,8 à 1 seconde pour les conducteurs à l'air libre.

Les défauts à la terre affectent moins la stabilité du réseau que les défauts entre phases, en particulier si le courant de défaut à la terre est limité, c'est-à-dire si le réseau n'est pas efficacement mis à la terre en de nombreux points. Même si le courant est limité, une élimination rapide s'impose lorsque le défaut se situe dans un transformateur ou une machine. La détection des défauts à la terre est facilitée par leur nature déséquilibrée.

sulation result in the dissipation of considerable power, the normal stable condition of the power system will receive a disturbing shock. Also, as the power dissipation is localised there may be substantial damage at the point of fault. Both of these effects are directly related to the magnitude of fault current and its duration.

Metallic connections across insulation occur only rarely and are usually due to failure to remove earthing connections before replacing a circuit into service. Such faults, however, are usually three-phase, and, because they are near to a busbar, may cause considerable disturbance to the power system. They are generally considered to be permanent faults.

Faults involving conductors in open air need not result in permanent damage and, providing the cause of the fault is transitory, e.g. lightning, the fault path may be deionised after isolation of the circuit and the circuit could then be successfully reclosed.

Faults due to deterioration of solid or liquid insulation, and possibly enclosed gas, are generally permanent and, because of the containment of energy, fire and explosion are possible. There is generally no possibility of using reclosing and there is a special requirement for fast clearance. Faults in open-air could persist longer without serious damage other than shock to the system, but for faults persisting for a second or longer there is a risk of spreading to other conductors and so high-speed clearance is again desirable. The majority of faults on a power system occur on open conductors mainly on overhead lines. The highest proportion of faults are single earth faults and most of these are of a transient nature, i.e. they could be reclosed successfully. Table 1-2 shows a typical analysis of types of faults.

TABLE 1-2
TYPICAL ANALYSIS OF FAULTS ON A HIGH VOLTAGE POWER SYSTEM

Type of Fault	% of Total
Single Phase faults to Earth	83
Phase-to-Phase without Earth	9
Phase-to-Phase-to-Earth	5
Three-Phase without Earth	1.5
Three Phase-to-Earth	1.5

TABLE 1-2 (Continued)

Equipment	% of Total
Overhead Lines and Cables	70
Power Transformers	20
Generator/Transformers	6.5
Switchgear and Busbars	3.5

Typical proportion of reclosures which prove successful = 70 %

Unbalanced faults may evolve into three-phase faults if they persist for some time, for example, 0.8 - 1.0 second for open conductors.

Earth faults have less effect on the stability of the power system than phase faults, and this is particularly so if the earth fault current is limited, i.e. the system is not solidly multiple earthed. Even with limited current, there is still a need for fast clearance when the fault is within a transformer or machine. The detection of earth faults is simplified by the unbalanced nature of such faults.

Dans le cas des défauts biphasés, le choc sur le réseau est proportionnellement plus important mais là encore leur nature déséquilibrée facilite la détection.

Les défauts triphases infligent au réseau le choc le plus important, particulièrement lorsqu'ils se produisent à proximité d'un jeu de barres et un fonctionnement rapide est souhaitable. Ces défauts étant sensiblement équilibrés, il est difficile, pour les courants de défaut peu élevés, de les distinguer des courants de charge. Le couplage entre conducteurs à haute tension et circuits à basse tension, tels que certains circuits de télécommunications, peut poser des problèmes de perturbations par induction (courants et tensions). Les défauts impliquant une ou deux phases et la terre ont des effets très importants à ce point de vue. Mais même dans le cas d'un défaut triphasé, la coupure des différentes phases de la ligne au moment des passages successifs à zéro des courants peut donner lieu à une période d'induction élevée.

Des défauts peuvent se produire simultanément en différents points, en général sur des phases différentes, mais peu fréquemment, et dans ce cas surtout sur les réseaux à neutre isolé ou mis à la terre par bobines de Petersen. Les défauts par rupture de conducteur peuvent se produire mais rarement. Tous ces défauts peu fréquents n'ont pas de conséquences particulièrement graves mais posent en général de difficiles problèmes de protection.

Des défauts entre spires se produisent sur les enroulements des machines ou des transformateurs. Ces défauts peuvent donner naissance à des courants très importants dans la partie défectueuse et détériorer le matériel. Il est souhaitable de les éliminer rapidement. Les défauts entre spires peuvent entraîner qu'un courant relativement faible dans le circuit de raccordement, ce qui rend leur détection parfois difficile.

Des défauts de circuits magnétiques de transformateurs peuvent se produire, dus à une rupture de l'isolation du noyau et entraînant la circulation de courants de Foucault très importants. Ils ne peuvent être détectés par la protection principale et obligent à recourir à des relais à gaz et à huile (Buchholz). Ces relais peuvent également détecter les défauts entre spires.

1.5.2 - Conditions anormales

Des courants dépassant la valeur maximale admise en régime continu sur différents éléments d'un réseau peuvent prendre naissance pour diverses raisons. Comme de telles surcharges ont un effet thermique, on peut les rapporter à une échelle de temps nettement plus longue que celle des défauts, par exemple une minute ou plus, comparée à une fraction de seconde. En matière de surcharge, la distinction entre sécurité et danger n'est pas aussi nette que dans le cas des défauts, et elle dépend de tous les facteurs qui peuvent avoir une action sur la température. Les surcharges, ou les conditions qui leur donnent naissance, peuvent s'étendre à une fraction importante du réseau. Si la surcharge se produit à une période de forte charge sur l'ensemble du réseau, les conséquences du déclenchement d'un circuit surchargé peuvent être graves car sa perte peut entraîner des surcharges et déclenchements en cascade et aboutir à un incident généralisé.

L'interconnexion maillée d'un certain nombre de centres de production constitue un réseau qui, bien que normalement stable, peut osciller sous l'effet d'un choc quelconque tel qu'un défaut (oscillations pendulaires). L'effet perturbateur dépend, entre autres, de l'impédance effective des interconnexions, et de l'importance et de la durée du défaut. Si la perturbation dépasse une certaine limite, l'écart angulaire entre les centres de production peut dépasser la limite de stabilité et ceux-ci perdent le synchronisme.

Les oscillations pendulaires et la marche hors synchronisme entraînent la circulation de courants triphasés dont l'amplitude est modulée à des fréquences de l'ordre de 1 ou 2 Hz. Ces courants, et les variations concomitantes de la tension, peuvent simuler des conditions semblables à celles créées par un défaut et agir sur certains types de protections.

1.6 - DISPOSITIONS ET CONDITIONS DE RESEAU LIEES A LA TELEPROTECTION

L'influence de la conception et du mode d'exploitation d'un réseau sur ce qui est exigé de la protection a déjà été mentionnée. La section 1.5 passait en revue les types de défauts et de conditions anormales susceptibles de se produire, et certains de leurs effets sur le réseau et sur la protection. Les sections suivantes développent certains de ces aspects dans le cadre d'exemples particuliers où l'emploi de liaisons de téléinformation est nécessaire ou souhaitable.

In the case of phase-to-phase faults the shock to the system is correspondingly greater but again their detection is facilitated by their unbalanced nature.

In the case of three-phase faults, these present the greatest shock to the system and this will be particularly severe when they occur close to a busbar and fast operation is again desirable. Because such faults are substantially balanced they are difficult, at low values, to distinguish from load currents. The mutual coupling between primary conductors and low voltage circuits, including some information links, can create problems of induced interference (currents and voltages). Faults involving one or two phases to earth are most important in this respect. Even with a balanced three-phase fault the clearance of different phases of the circuit at successive current zeros can cause a period of high induction.

Faults may occur simultaneously at two different locations, usually on different phase conductors, but these are rather unusual and, even so, are associated with power systems with insulated or Petersen coil earthed neutrals. Faults involving a broken conductor may happen but these are rare. These rarer types of faults are not especially severe in their effects but they generally present difficult protection problems.

Interturn faults may occur on the windings of generators and transformers. Such faults can produce excessive currents in the faulted section and thus damage the equipment. Fast clearance of such faults is desirable. Interturn faults may cause only relatively low currents to flow in the connections to the equipment and this makes their detection sometimes difficult.

Transformer core faults may occur due to failure of core insulation and give rise to excessive eddy currents in the core. Such faults, if prolonged, can cause serious damage to the core. They cannot be detected by main protection and normally require gas and oil actuated relays (Buchholz). These relays can also detect interturn faults.

1.5.2 - Abnormal conditions

Currents in excess of the maximum continuous rating of the various components on a power system can occur for various reasons. As the effects of such overloads are thermal, they can be considered in relation to a much longer time-scale than faults, for example, up to a minute or more compared with a fraction of a second. With overload conditions, the distinction between safe and dangerous conditions is not exact as is the case with a fault condition, and it is dependent on all the factors which can affect the temperature. Overload or the conditions causing it can affect a considerable proportion of a power system. If the overloading occurs at a time of generally heavy loading on the system, the consequences of tripping an overloaded interconnection may be serious as the loss of this may produce successive overloading and tripping and result in a widespread disruption of the system.

The complex interconnection of a number of generating centres by a transmission system constitutes a network which, although normally stable, will oscillate when disturbed by some stimulus such as a fault (system swinging). The disturbing effects depend, among other factors, on the effective impedances of the interconnections and the magnitude and duration of the fault. If the stimulus exceeds a particular limit, the generating centres will swing beyond the stability limit and drop out-of-step. Swinging and out-of-step conditions cause interchange of three-phase currents, the amplitudes of which are modulated at frequencies of the order of 1 - 2 Hz. These currents and the related variations in voltage may present conditions similar to a fault and thus react on some types of protection.

1.6 - POWER SYSTEM ARRANGEMENTS AND CONDITIONS RELATED TO TELEPROTECTION

The influence of the design and operation of the power system on the requirements for protection has already been mentioned. Section 1.5 has summarised the types of faults and abnormal conditions which may occur and some of the effects of these on both the power system and protection. The following sections amplify some of these aspects in relation to specific examples where the use of information links is either necessary or desirable.

1.6.1 - Réenclenchement automatique

Sous ses différentes formes, cette disposition est largement utilisée pour éviter la coupure permanente d'un circuit dans le cas de défauts fugitifs représentant un pourcentage important, en particulier sur les lignes aériennes (Section 1.5). Il est nécessaire de couper l'alimentation du défaut pendant un temps court (par exemple 0,3 seconde) de façon à ce que le trajet du défaut soit désionisé avant la remise sous tension du circuit. Il est essentiel de réduire le temps global au minimum ce qui exige le déclenchement rapide et coordonné des disjoncteurs des deux extrémités. Le déclenchement et le réenclenchement rapides réduisent la dissipation d'énergie dans le défaut, minimisent la perturbation sur le réseau et réduisent la durée de l'interruption de fourniture aux consommateurs importants.

1.6.2 - Stabilité du réseau

La durée d'un défaut, comme il a été dit à la Section 1.5., est un important facteur qui commande l'aptitude des centres de production à conserver le synchronisme après élimination de ce défaut. Les tendances dans le développement des réseaux modernes, telles que les courants de court-circuit élevés, la taille accrue des générateurs et la réduction des constantes d'inertie ont mis l'accent sur l'importance de la durée des défauts et ont exigé des protections de grande rapidité qui, dans de nombreux cas, ne peuvent être réalisées que grâce à l'emploi de liaisons de téléinformation.

1.6.3 - Régimes instables

La marche hors synchronisme, dont il a été fait mention à la Section 1.5., pose en général de sérieux problèmes pour le maintien en fonctionnement du réseau. Lorsque les centres de production sont effectivement en opposition de phase, les courants et tensions correspondent à ceux qu'entraînerait un défaut triphasé au centre électrique du réseau. Il est possible que certains types de protections, comme les protections de distance, fonctionnent en différents points du réseau, provoquant ainsi des déclenchements intempestifs. Ceci peut être évité en utilisant des dispositifs anti-pompage, ce qui peut se faire sans employer de liaisons de téléinformation. Toutefois, il est parfois souhaitable de provoquer un déclenchement volontaire en certains points pour fractionner le réseau, réduire la perturbation et faciliter la reprise du service. Ces points ne coïncident pas nécessairement avec ceux où a fonctionné la protection de distance et il peut être nécessaire d'employer des relais spéciaux associés à des liaisons de téléinformation.

1.6.4 - Circuits alimentant des transformateurs

Les transformateurs raccordés aux lignes sans disjoncteur interposé sont de plus en plus répandus sur les réseaux de toutes tensions. La ligne et le transformateur doivent être protégés comme un tout, ce qui pose certains problèmes. Il peut ne pas être possible de protéger efficacement le transformateur par des relais placés aux extrémités de la ligne pour les raisons suivantes :

Un défaut dans le transformateur peut être détecté par Buchholz (relais à gaz et huile) alors que le courant de défaut est négligeable.

Le courant de défaut, pour un défaut sur le transformateur peut être d'amplitude limitée. Par exemple, sur la figure 1.10, un défaut à la terre sur l'enroulement triangle donnerait un courant de défaut relativement peu élevé en 'A' en raison de l'impédance de l'enroulement du transformateur. Pour un défaut sur l'enroulement en étoile, le courant serait limité par la résistance de mise à la terre.

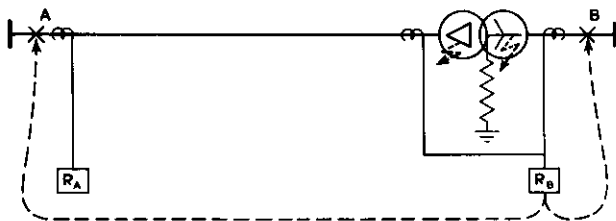


Figure 1.10 - Interdéclenchement dans le cas d'un ensemble transformateur - liaison

RELAY AT 'A' MAY NOT OPERATE FOR WINDING FAULTS.
TRIPPING OF 'A' WOULD REQUIRE TRANSMISSION OF
TRIPPING SIGNAL FROM 'B'
LE RELAIS EN 'A' PEUT NE PAS FONCTIONNER POUR DES DÉFAUTS DANS LES
ENROULEMENTS. LE DÉCLENCHEMENT EN 'A' EXIGERAIT LA TRANSMISSION
D'UN SIGNAL DE DÉCLENCHEMENT DEPUIS 'B'

1.6.1 - Auto-Reclosing

In its various forms this has become widely used in order to avoid the permanent isolation of a circuit in the case of faults which are of a transient nature and which represent a high proportion of faults particularly on overhead lines (Section 1.5). It is necessary for the fault to be isolated for a short time, e.g. about 0.3 seconds, so that the fault path may be deionised prior to re-energising the circuit. It is important that the overall time be reduced to a minimum and this requires fast, co-ordinated tripping of the circuit-breakers at each end of the line. This high speed tripping and reclosing satisfies the requirements of limiting the dissipation of energy at the fault, minimising the disturbance to the power system, and reducing the interruption of supply to important loads.

1.6.2 - System Stability

The duration of a fault condition as stated in Section 1.5, is an important factor controlling the ability of generating centres to remain in synchronism following the clearance of the fault. The trends in the development of modern power systems such as high fault currents, larger generator sizes and smaller inertia constants, have emphasised this importance of fault duration and led to requirements of high-speed protection which in many cases can be satisfied only by the use of an information link.

1.6.3 - System Instability

The out-of-step condition, referred to in Section 1.5, generally presents serious problems to the continued operation of the power system. When the generating centres are effectively in anti-phase with each other, the currents and voltages correspond to those which would occur with a three-phase fault at the electrical centre of the power system. Some forms of protection, such as distance protection, could operate at some points on the system and thus cause uncontrolled tripping. This can be prevented by providing out-of-step blocking features and this can be done without using an information link. However, it is sometimes desirable to initiate controlled tripping at certain points to sectionalise the power system and minimise the disturbance, and facilitate the restoration of normal conditions. These points would not necessarily coincide with those at which distance protection would operate and the use of special relays in conjunction with information links may be necessary.

1.6.4 - Transformer Feeders

Transformers connected to lines without a circuit-breaker are increasingly common and occur over a wide range of system voltages. The line and the transformer must be protected together and certain problems arise from this requirement. It may not be possible to provide adequate protection of the transformer by relays located at the ends of the line because :

A fault in the transformer tank may be detected by Buchholz (gas/oil relay) with only negligible fault current.

The fault current for a transformer fault may be limited in value. For example, in figure 1.10 an earth fault on the delta winding would produce a relatively low value of fault current at 'A' because of the impedance of the transformer winding. For a fault on the star winding, the current would be limited by the earthing resistor.

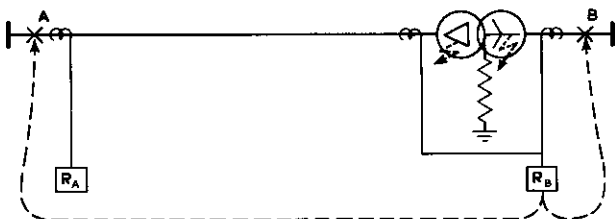


Figure 1.10 - Feeder/transformer - intertripping

RELAY AT 'A' MAY NOT OPERATE FOR WINDING FAULTS.
TRIPPING OF 'A' WOULD REQUIRE TRANSMISSION OF
TRIPPING SIGNAL FROM 'B'
LE RELAIS EN 'A' PEUT NE PAS FONCTIONNER POUR DES DEFAUTS DANS LES
ENROULEMENTS. LE DECLENCHEMENT EN 'A' EXIGERAIT LA TRANSMISSION
D'UN SIGNAL DE DECLENCHEMENT DEPUIS 'B'

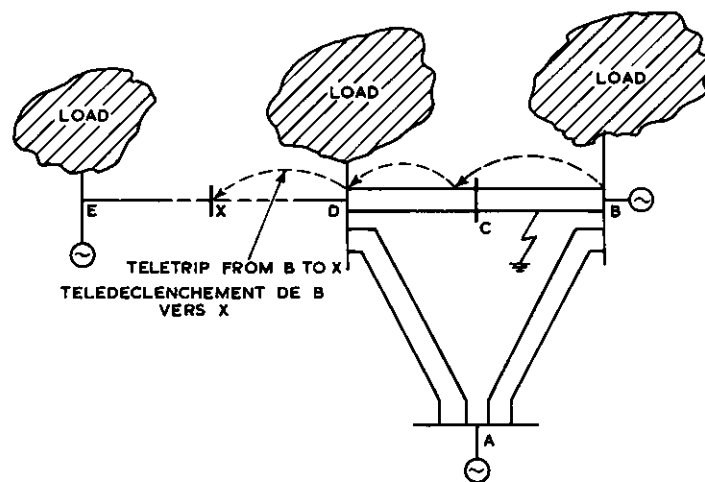
Il peut être nécessaire de distinguer entre défauts sur le transformateur et défauts en ligne car le réenclenchement n'est pas conseillé dans le premier cas.

Dans le cas de lignes en T ou en piquage, il peut être difficile de choisir, pour les relais de distance, des réglages qui soient satisfaisants pour les diverses impédances de lignes entre les différentes extrémités.

Dans tous les cas ci-dessus, l'emploi d'une liaison de téléinformation peut résoudre le problème, ou tout au moins le ramener à des proportions raisonnables.

1.6.5 - Télédéclenchement

Il peut arriver que deux réseaux assez fortement maillés, ayant chacun sa consommation propre, soient interconnectés par une liaison synchrone, et que cette liaison ne soit pas suffisante en cas de forte perturbation dans l'un des réseaux. Il peut s'agir par exemple d'une liaison d'interconnexion entre deux pays, servant essentiellement à l'échange de surplus d'énergie (Fig. 1.11).



SYSTEM ABCD COMPRISES A FULLY-INTERCONNECTED SYSTEM DESIGNED FOR WITHSTANDING FAULTS WITHOUT LOSS OF DYNAMIC STABILITY. INTERCONNECTION ED IS FOR ECONOMIC LOAD INTERCHANGE AND IS BASED ON DESIGN FOR STEADY-STATE STABILITY. FAULT ON SYSTEM ABCD WOULD RESULT IN LOSS OF SYNCHRONISM WITH SYSTEM E. INTERCONNECTION ED IS OPENED BY RECEIPT OF TELETRIPPING SIGNAL FROM B VIA INTERMEDIATE STATIONS.

LE SYSTEME ABCD CONSTITUE UN RESEAU ENTIEREMENT INTERCONNECTE, CONÇU POUR CONSERVER, EN CAS DE DEFAUT, SA STABILITE DYNAMIQUE. LA LIAISON ED EST DESTINEE A L'ECHANGE ECONOMIQUE D'ENERGIE ET SA CONCEPTION ASSURE LA STABILITE EN REGIME ETABLI. UN DEFAUT DANS LE RESEAU ABCD ENTRAINERAIT LA PERTE DE SYNCHRONISME AVEC LE RESEAU E. LA LIAISON ED EST OUVERTE SUR RECEPTION D'UN SIGNAL DE TELEDECLIENEMENT EMANANT DE B ET TRANSITANT PAR LES POSTES INTERMEDIAIRES

Figure 1.11 - Exemple de télédéclenchement

L'apparition d'un défaut dans un réseau peut ne pas suffire à créer des conditions de déclenchement sur les relais de la liaison qui doit cependant être coupée pour limiter les effets des oscillations pendulaires qui prennent naissance. Comme l'emplacement du défaut peut être éloigné du point d'interconnexion, un ordre de déclenchement doit pouvoir être transmis sur des distances de 300 à 500 km, transitant ou retransmis par un certain nombre de postes intermédiaires.

1.6.6 - Lignes courtes en série avec des lignes longues

Avec les relais de distance courants, il est difficile de choisir des réglages qui conviennent pour deux lignes adjacentes lorsque les longueurs de celles-ci sont très différentes (figure 1.12). L'emploi de liaisons de téléinformation peut simplifier ou résoudre ce problème.

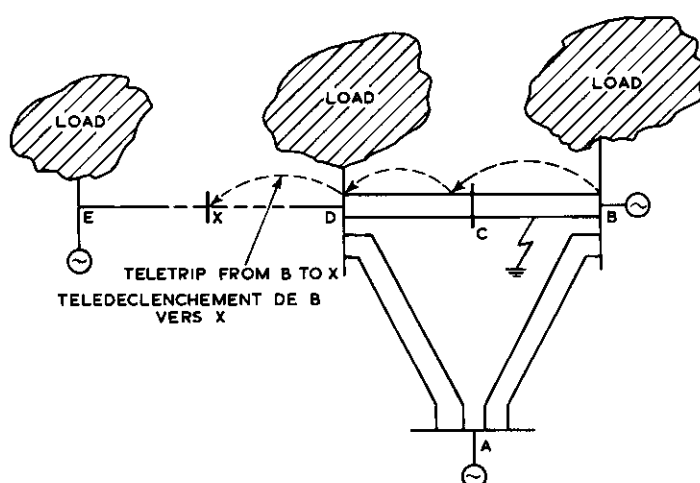
It may be necessary to distinguish between transformer faults and line faults because reclosing is not desirable for transformer faults.

In the case of teed and tapped lines it may be difficult to choose distance relay settings which are satisfactory for the range of line impedances between the various terminals.

In all the above cases the use of an information link may overcome the problems, or at least reduce them to acceptable proportions.

1.6.5 - Teletripping

The case may arise where two relatively heavily interconnected power systems, each basically self-contained, are interconnected by a synchronous tie, which may not be effective when one of the systems is heavily disturbed by a fault. An example of this is an interconnection between two different countries, for purposes such as interchange of surplus power (see Figure 1.11)



SYSTEM ABCD COMPRISES A FULLY-INTERCONNECTED SYSTEM DESIGNED FOR WITHSTANDING FAULTS WITHOUT LOSS OF DYNAMIC STABILITY. INTERCONNECTION ED IS FOR ECONOMIC LOAD INTERCHANGE AND IS BASED ON DESIGN FOR STEADY-STATE STABILITY. FAULT ON SYSTEM ABCD WOULD RESULT IN LOSS OF SYNCHRONISM WITH SYSTEM E. INTERCONNECTION ED IS OPENED BY RECEIPT OF TELETRIPPING SIGNAL FROM B VIA INTERMEDIATE STATIONS.

LE SYSTEME ABCD CONSTITUE UN RESEAU ENTIEREMENT INTERCONNECTE, CONÇU POUR CONSERVER, EN CAS DE DEFAUT, SA STABILITE DYNAMIQUE. LA LIAISON ED EST DESTINEE A L'ECHANGE ECONOMIQUE D'ENERGIE ET SA CONCEPTION ASSURE LA STABILITE EN REGIME ETABLI. UN DEFAUT DANS LE RESEAU ABCD ENTRAINE LA PERTE DE SYNCHRONISME AVEC LE RESEAU E. LA LIAISON ED EST OUVERTE SUR RECEPTION D'UN SIGNAL DE TELEDECLENCHEMENT EMANANT DE B ET TRANSITANT PAR LES POSTES INTERMEDIAIRES

Figure 1.11 - An example of "tele-tripping"

The occurrence of a fault on one system may not produce tripping conditions at the relays on the interconnecting tie which should be tripped in order to limit the effects of subsequent system swinging. As the fault position may be considerably distant from the interconnection a tripping command may have to be transmitted over say 300 - 500 km, possibly over or through a number of intermediate stations.

1.6.6 - Short Lines in Series with Long Lines

With practical distance relays it is difficult to choose settings to satisfy the requirements of adjacent lines when the lengths of these lines differ considerably (see figure 1.12). The use of information links can reduce or eliminate this problem.

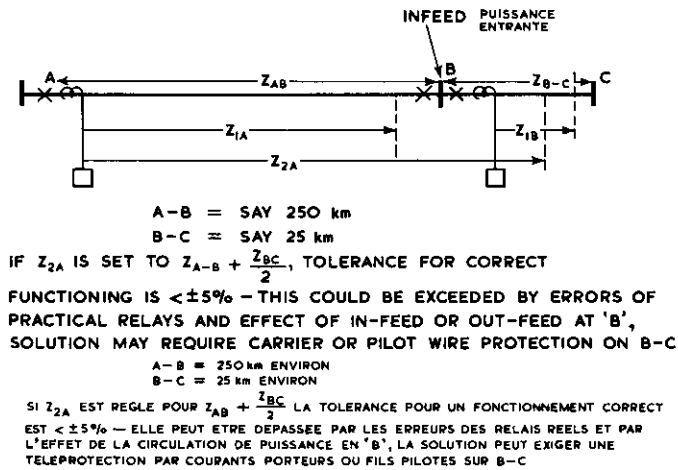


Figure 1.12 - Lignes longues suivies de lignes courtes

1.6.7 - Lignes longues et fortement chargées

Dans ce cas, le réglage des relais de distance devrait être un réglage haut mais par ailleurs, l'emploi de conducteurs en faisceau peut autoriser des charges élevées auxquelles correspond une impédance en charge basse. Il peut être difficile de réaliser un réglage normal des relais de distance. Une fraction non négligeable de la ligne n'est alors couverte que par le deuxième stade temporisé. Une liaison de téléinformation peut être nécessaire pour obtenir un déclenchement accéléré (Fig. 1.13).

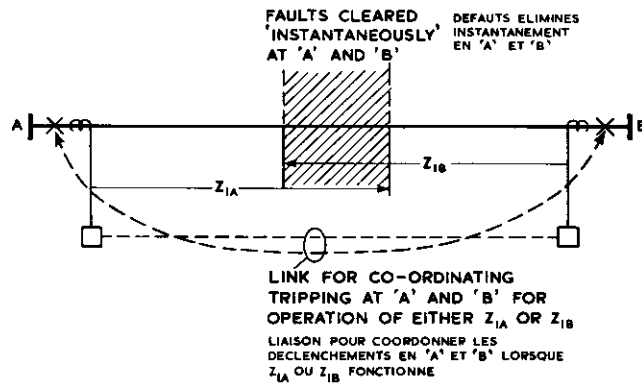


Figure 1.13 - Lignes longues fortement chargées

1.6.8 - Lignes courtes

Pour les lignes courtes, les effets de la tension d'arc et de la résistance du sol rendent difficile un déclenchement correct si la ligne en défaut est protégée par une protection de distance. Le problème est plus simple si les relais de distance sont réglés pour une portée dépassant les extrémités de la ligne (Fig. 1.14). Comme indiqué à la Section 2.3, cette méthode de protection exige l'emploi d'une liaison de téléinformation. Pour ces lignes, de longueur inférieure à 30 km par exemple, on pourrait aussi utiliser une protection différentielle longitudinale ou une protection par courants porteurs telle que décrite à la Section 2.2.

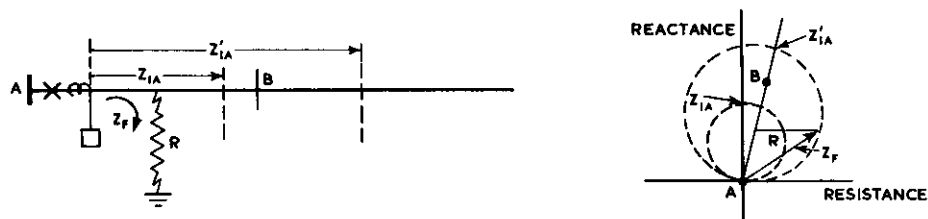


Figure 1.14 - Ligne courte avec défaut résistant

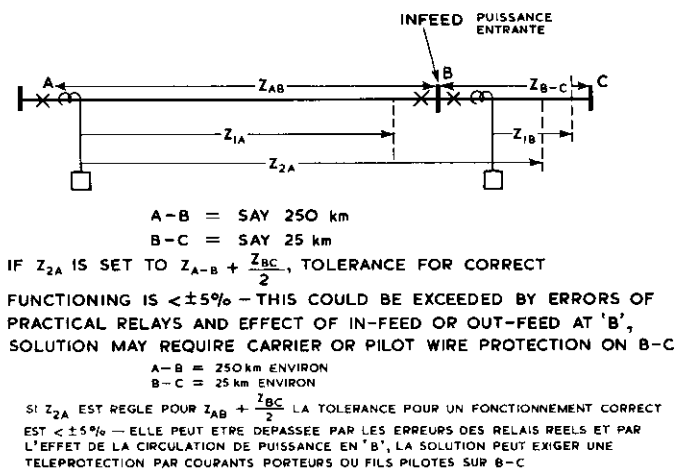


Figure 1.12 - Short lines adjacent to long lines

1.6.7 - Long and Heavily Loaded Lines

In this case, a distance relay setting would be high but, on the other hand, the use of bundle conductors can result in high load ratings giving correspondingly low load impedances. It may be difficult to achieve the normal distance relay settings and result in a significant proportion of the line being covered only by the time delayed zone 2. An information link may be necessary to give accelerated tripping for such applications (see figure 1.13).

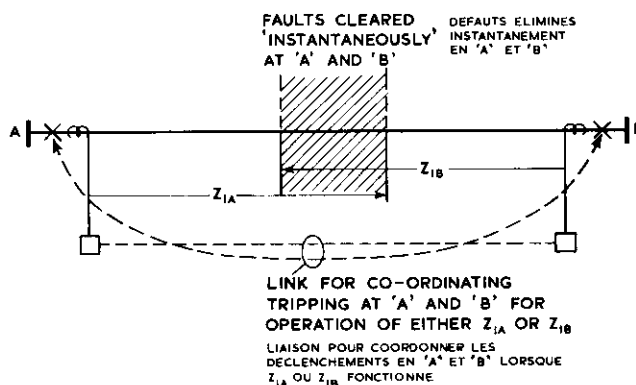


Figure 1.13 - Long heavily loaded lines

1.6.8 - Short Lines

For short lines, the effects of arc voltage and ground resistance constitute a problem to the correct tripping for faults on a line protected by distance protection. This problem is reduced if the distance relay settings reach beyond the line termination (see figure 1.14). As shown in Section 2.3, this method of protection requires the use of an information link. For such short lines, e.g. up to 30 km., alternative methods of protection would be longitudinal differential protection or power line carrier protection as described in Section 2.2.

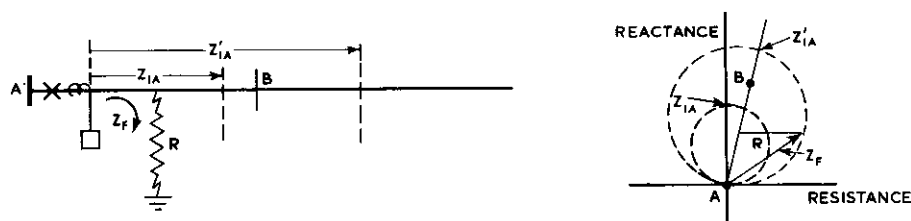


Figure 1.14 - Short line with fault resistance

1.6.9 - Câbles à haute tension

Des amorçages peuvent se produire sur les lignes aériennes sans grand dommage pour la ligne elle-même, même pour des durées de défaut d'une seconde ou plus. Les dommages subis par les câbles ou les conduites par lesquelles ils passent peuvent être considérables pour des défauts de même durée. Une protection instantanée est donc souhaitable, ce qui implique l'emploi d'une liaison de téléinformation. Dans certains cas, une certaine longueur de câble peut être associée à une ligne aérienne. Les problèmes de protection qui se posent alors mettent en évidence l'intérêt d'une liaison de téléinformation.

1.6.10 - Condensateurs série

L'insertion de condensateurs en série dans une ligne aérienne, pour des raisons de commodité de réglage par exemple, pose des problèmes de protection, en particulier si l'on fait usage de protections de distance. La solution de ces problèmes dépend des cas particuliers mais elle est bien souvent facilitée par l'emploi d'une liaison de téléinformation, dont on peut, par ailleurs, avoir besoin pour la commande à distance du condensateur.

1.6.11 - Protection de réserve

On a déjà fait allusion à ce point dans les sections précédentes. Le sujet est d'importance et cette section donne des indications complémentaires pour les ingénieurs des télécommunications et montre l'importance croissante des liaisons de téléinformation dans les protections de ce type. On a déjà indiqué que, dans les réseaux modernes fortement maillés, les protections principales sont chargées de l'élimination rapide des défauts sur des ouvrages et des liaisons bien définis, pour les raisons exposées plus haut. Cette protection sélective de parties du réseau peut être rendue totalement effective ou presque, mais ce faisant on rend chaque équipement de protection sélective sensible aux seuls événements qui se produisent dans sa zone de protection, à l'exclusion de ceux qui concernent tout le reste du réseau. Pourvu que les défauts se produisent comme prévu et que l'équipement fonctionne correctement, une telle disposition est efficace.

La protection de réserve est concernée en général par les défauts ou conditions anormales qui sont extérieurs au domaine d'action des protections sélectives principales ou n'ont pu être éliminés par ces protections. Comme on l'a vu à la Section 1.5, des conditions anormales, telles que la surcharge, peuvent concerner une partie importante d'un réseau, soit dans leurs effets, soit par les conséquences des mesures prises pour y remédier. Les rares cas de fonctionnement défaillant de la protection principale peuvent être dus aux causes suivantes :

- (a) Le défaut se trouve dans une zone non protégée par la protection principale, c'est-à-dire que la couverture de celle-ci est insuffisante.
- (b) Le défaut a une valeur qui, pour des raisons imprévues, est inférieure à la valeur de réglage de la protection.
- (c) Une défaillance matérielle ou un accident ont empêché le fonctionnement de la protection. Ceux-ci peuvent concerner également l'appareillage associé et sa filerie (par exemple : transformateurs de courant ou de tension, batteries).
- (d) Une défaillance matérielle ou un accident ont empêché l'élimination du défaut par les disjoncteurs voulus.

L'importance de (a) se rattache à la nature et à l'extension de la zone non protégée, et elle est considérable s'il s'agit d'un jeu de barres. Les effets de (b) sont généralement moindres car dans ce cas le défaut n'est pas important. Les effets de (c) et (d) peuvent être graves car il serait nécessaire de déclencher un nombre plus grand de disjoncteurs pour éliminer le défaut. Le risque de voir se produire le cas (c) est fortement réduit si l'on prévoit deux protections principales comme indiqué à la Section 2.5.

Le traitement classique du problème de la protection de réserve consiste à pourvoir un certain nombre de points du réseau de protections sélectives dépendantes, sous forme de relais à maximum de courant, de relais de terre ou de relais de distance, qui peuvent être distincts ou faire partie intégrante des équipements de protection principale. On utilise presque toujours des temporisations pour s'assurer qu'ils ne fonctionnent pas si le défaut est correctement éliminé par la protection principale, et pour obtenir un échelonnement, donc une certaine sélectivité, s'ils fonctionnent.

1.6.9 - High Voltage Cables

Flashovers on lines can occur without producing any great damage to the line itself even though the duration of faults may extend to one or more seconds. The damage to the cables and to the ducts through which they are run, may be considerable if the fault duration is extended to similar times. An "instantaneous" form of protection is thus desirable and this requires an information link. In some cases a length of cable may be associated with an overhead line and this will give rise to complications in the protection which may emphasise the need for an information link.

1.6.10 - Series Capacitors

The inclusion of a capacitor in series with an overhead line, for example to improve regulation, introduces problems in protection, especially if distance protection is used. The solution of such problems depends on the particular installation but, in many cases, is facilitated by the use of an information link, which may also be needed for remote control of the capacitor.

1.6.11 - Back-up Protection

There have been references to this in preceding sections. The subject is important and this section gives further information for telecommunication engineers and indicates how information links may become of increasing importance in this type of protection. It has already been pointed out that, in modern highly interconnected power systems, the main forms of protection are concerned with the fast clearance of faults on specific components and interconnections and the reasons for this have already been given. This selective protection of elements of the power system can be made complete or nearly so, but in so doing, each selective protection equipment is then concerned only with what happens in its protected zone and thus excludes consideration of the behaviour of the power system as a whole. Provided fault conditions happen as expected and provided equipment functions correctly, such protection arrangements are effective.

Back-up protection is generally concerned with abnormal or fault conditions which have either not come within the scope of the selective main protections or have failed to be cleared by such protection. As shown in Section 1.5, abnormal conditions, such as overload, may concern a considerable part of a power system either in its effects or in the consequences of action taken in dealing with it. In the rare case of a failure of main protection to clear a fault, this may be due to :

- (a) The fault may be in a zone not covered by main protection, i.e. the main protection protection coverage is incomplete.
- (b) The fault may be unexpectedly below the operating value of the protection.
- (c) An equipment failure or accident may have prevented operation of the protection. This includes associated equipment and wiring, e.g. current transformers, voltage transformers and batteries.
- (d) An equipment failure or accident may have prevented clearance of the fault by the required circuit-breakers.

The importance of (a) is related to the type and extent of the zone uncovered and is considerable if this is a busbar. The effects of (b) are generally less because the fault is generally not severe. In relation to (c) and (d) the effects could be considerable, because it would then become necessary to trip a larger number of other circuit-breakers in order to isolate the fault. The risk of (c) is greatly reduced by provision of two main protections as referred to in Section 2.5.

The traditional approach to back-up protection is the provision of partially selective protection at a number of points on the power system. These may be the form of overcurrent, earth fault or distance relays which may be separate from or integral with main protection equipments. Time lags are almost invariably used to ensure that they do not operate when the fault is correctly cleared by main protection and to obtain some degree of time-grading (and thus selectivity) when they do operate.

Les temporisations fixées peuvent aller de 0,5 à 3,0 secondes et, bien que l'élimination par la protection de réserve ne soit pas fréquente, la possibilité de rencontrer de telles durées de défaut et les nombreux déclenchements qui en résultent posent de sérieux problèmes dans les réseaux modernes fortement chargés.

Bien que des améliorations aient été apportées aux protections de réserve, par exemple par l'adoption de meilleures caractéristiques pour les relais de distance, le problème fondamental reste que le choix des mesures à prendre et la limitation de leurs effets devraient prendre en considération tout, ou au moins une grande partie du réseau et non pas seulement les conditions en des points particuliers.

Jusqu'à présent, on a fait relativement peu usage des liaisons de téléinformation, que ce soit pour la protection principale ou pour d'autres applications, pour résoudre ces problèmes. Le développement ultérieur de la protection de réserve, qui devient vraiment maintenant une "protection globale du réseau" pourrait conduire à l'emploi d'un réseau de liaisons de téléinformation pour transmettre les données relatives à l'état des différents points du réseau, avant comme après le défaut, vers un centre de coordination qui traiterait ces données et donnerait les ordres voulus aux différents points du réseau. Cette façon de traiter le problème irait dans le sens de l'évolution actuelle des moyens de contrôle et d'exploitation des réseaux.

1.6.12 - Usines génératrices éloignées des postes

Certaines usines génératrices sont quelquefois éloignées des postes qui leur sont associés. On en trouve des exemples dans les installations hydro-électriques où plusieurs centres de production sont groupés autour d'un poste commun. On peut citer aussi les cas où une centrale thermique est éloignée du poste correspondant en vue de réduire la pollution des isolateurs de celui-ci. Les distances en cause sont de l'ordre de 5 à 20 km et des liaisons de téléinformation seraient utiles aussi bien pour la protection principale que pour les ordres de déclenchement. Ces liaisons pourraient être groupées avec celles du même genre utilisées pour la télécommande et l'exploitation.

The times involved may be between 0.5 and 3.0 seconds and, although clearance by back-up protection is not frequent, the possibility of experiencing such times of fault duration and the subsequent tripping of a number of circuit-breakers presents serious problems with modern heavily loaded power systems.

Although improvements to back-up protection have been made, e.g. by the choice of improved characteristics for distance relays, the inherent problem arises from the fact that the minimising and choice of the action required should be based on consideration of all, or at least a large part of the power system and not on the separate consideration of conditions at individual points.

So far, some use has been made of information links, either those used for main protection or additional ones, to solve some of the problems mentioned. Further improvement in back-up protection, which is now becoming really "overall system protection" may involve the use of a network of information links to transmit data relating to the conditions at various points on the system, both before the fault and after, to a co-ordinating position which assesses the data and transmits the desired commands to various points on the system. This approach would be compatible with developments in the control and operation of power systems.

1.6.12 - Generating Stations Distant from Switching Stations

Generating stations may be sometimes separated from the switching stations controlling them. Examples of this arrangement occur in hydro-electric schemes, where a number of individual generating points may be grouped at a common switching station. Another example is the case of a thermal generating station separated from its switching station to reduce the amount of pollution of insulators at the switching station. The distances involved are of the order of 5 - 20 km and information links would be required both for main protection and for tripping commands and these would normally be integrated with similar requirements for control and operation.

2. - SYSTÈMES DE PROTECTION

2.1 - GENERALITES

La Section 1 de ce rapport a présenté certains principes de base de la protection et discuté des conditions qui y correspondent sur le réseau, en particulier de celles qui conduisent à employer des liaisons de téléinformation pour la "téléprotection". La Section suivante donne des exemples représentatifs de systèmes de protection, de la façon d'utiliser les liaisons de téléinformation et de l'influence qu'elles peuvent avoir sur la conception, le fonctionnement et les applications de ces systèmes de protection.

Les exemples donnés sont classés en fonction de la nature de l'information transmise, c'est-à-dire quantitative ou qualitative. Les deux méthodes peuvent être utilisées pour atteindre le but commun qui est un système de protection sélectif à grande rapidité, qui soit rapide quel que soit l'emplacement du défaut à l'intérieur de la zone protégée. Le choix du type de protection, de la liaison de téléinformation et de l'information transmise dépend de nombreux facteurs dont certains seulement sont techniques. Il est grandement influencé par la conception et le mode d'exploitation du réseau, par les pratiques en usage en matière de protection et par l'emploi de liaisons de téléinformation à d'autres fins telles que la téléphonie, la télémessure ou la télécommande.

La Section 3 de ce rapport traite en détail des liaisons de téléinformation utilisées pour la protection des réseaux et est donc complémentaire de la présente section. Toutes les fois où ce sera nécessaire, on fera référence dans la Section 2, aux parties correspondantes de la Section 3.

2.2 - SYSTEMES DE PROTECTION UTILISANT LA LIAISON DE TELEINFORMATION POUR LA TRANSMISSION D'INFORMATIONS QUANTITATIVES

2.2.1 - Techniques de sommation

Les protections basées sur la transmission d'informations quantitatives concernant les grandeurs primaires reçoivent ces informations de transformateurs de courant et de tension. La source d'information est donc polyphasée. Des informations complètes concernant les conditions polyphasées ne sont pas essentielles et ne sont pas transmises en général car ce serait un gaspillage des possibilités en canaux. Il est, en conséquence, courant de faire entrer les grandeurs secondaires polyphasées dans un dispositif de sommation qui fournit une grandeur de sortie monophasée, liée en amplitude et en phase aux conditions primaires dont elle découle. La liaison de téléinformation n'a donc à transmettre que cette information monophasée. Des systèmes de ce type sont décrits en 2.2.2. et 2.2.3.

Deux systèmes fondamentaux de sommation de courants sont employés :

(a) Transformateurs de sommation de courants

Ce dispositif, représenté Figure 2.1, est relativement simple. Les prises de l'enroulement d'entrée donnent à la sortie un terme équivalent qui varie selon le type de défaut. Il est facile de les déterminer et de les choisir de façon à satisfaire les sensibilités

2. – SYSTEMS OF PROTECTION

2.1 - GENERAL

Section 1 of the Report has introduced some basic principles of protection and has discussed some relevant conditions on power transmission networks, particularly those leading to the use of information links in "teleprotection". The following section describes some representative examples of systems of protection, the ways in which information links are used and the influence these have on design, performance and application.

The examples given are classified in terms of the type of information transmitted, i.e. either quantitative or qualitative. Either method may be used to achieve the common objective, a high speed selective system of protection which is fast for all fault positions within the protected circuit. The choice of the type of protection, information link and information transmitted depend on many factors only some of which are technical. The choice is greatly influenced by the design and method of operation of the power system, the background of protection practice and the use of information links for other purposes such as communication, telemetering and control.

Section 3 of this Report deals in detail with the various information links used for power system protection and is thus complementary to this section. Where especially relevant, reference to appropriate parts of Section 3 is made in Section 2.

2.2 - PROTECTIVE SYSTEMS USING THE INFORMATION LINK TO CONVEY QUANTITATIVE INFORMATION

2.2.1 - Summation Techniques

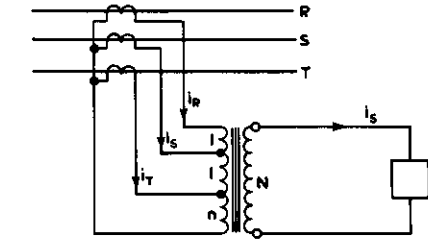
Protection which is based on the transmission of quantitative information about the primary quantities derives this information from current transformers and voltage transformers, and the source of information is thus polyphase. Complete information about the polyphase conditions is not essential and is not usually transmitted as this would be wasteful in channel requirements. It is usual, therefore, to feed the polyphase secondary quantities into a summing device which provides a single phase output which is related in magnitude and phase angle to the primary conditions from which it results. The information link need therefore only accommodate the transmission of this single phase information. Systems of this type are described in 2.2.2 and 2.2.3.

Two basic forms of current summing devices are used :

(a) Summation Current Transformers

This device, as shown in figure 2.1, is relatively simple. The tapings on the input winding produce an equivalent output as shown, which varies according to the type of fault. These are readily evaluated and are chosen to satisfy the relative fault sensitivities

relatives nécessaires à la protection. On peut voir que la partie commune de l'enroulement d'entrée commande la sensibilité aux défauts à la terre, pour lesquels on obtient les plus grandes valeurs à la sortie. Ceci convient à un grand nombre d'applications pratiques dans lesquelles les courants primaires sont souvent moindres pour un défaut à la terre que pour les défauts entre phases. Le transformateur de sommation délivre en général un courant, bien que, si le noyau a un entrefer, on obtienne à la sortie une tension,



$$N i_s = (2+n) i_R + (1+n) i_S + n i_T$$

$$= 2 i_R + i_S + n (i_R + i_S + i_T)$$

RELATIVE OUTPUTS	SORTIES RESPECTIVES
R-E — n+2	R-S AND S-T — 1
S-E — n+1	R-T — 2
T-E — n	R-S-T — $\sqrt{3}$

Figure 2.1 - Transformateur de sommation

Le rapport de transformation peut être choisi pour faciliter l'adaptation entre le relayage, la liaison de téléinformation et les transformateurs de courant. Ce transformateur peut aussi assurer la séparation et l'isolement entre ces différents circuits.

(b) Réseaux à composantes symétriques

Il en existe de nombreuses formes, alimentés en courant ou en tension. Le branchement des transformateurs de courant ou de tension peut en permettre une réalisation simple comme indiqué figure 2.2.

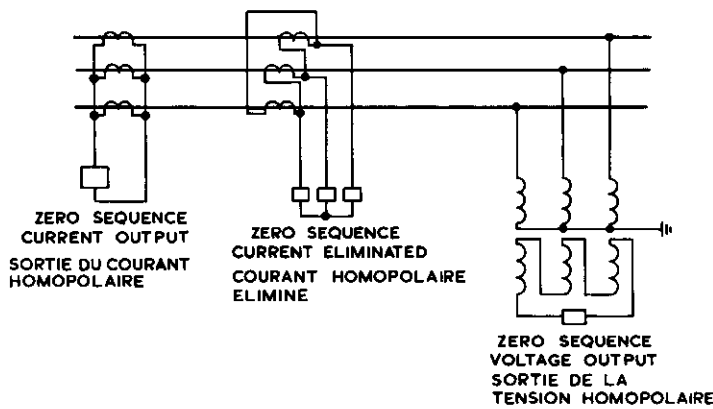


Figure 2.2 - Composantes symétriques obtenues suivant le branchement

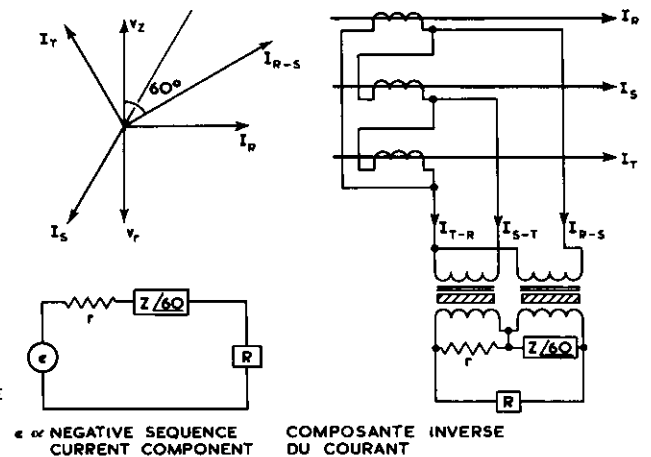
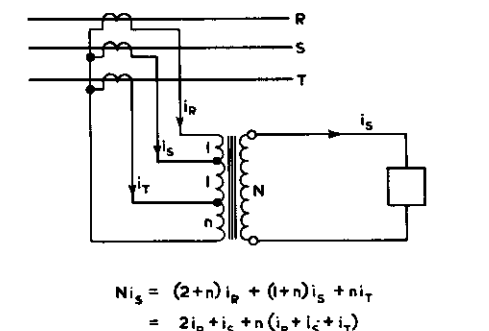


Figure 2.3 - Réseau à composante inverse

On utilise souvent des réseaux plus complexes, tels que ceux de la figure 2.3, pour obtenir une grandeur de sortie monophasée liée à une composante symétrique particulière du courant, par exemple : composante inverse + composante directe. Comme pour les transformateurs de sommation, la grandeur de sortie dépend du type de défaut et des phases concernées. Ce genre de réseau fournit une tension à la sortie. A la différence du transformateur de sommation, il est en général sensible à la fréquence et requiert souvent l'emploi de filtres pour supprimer les tensions non désirées. Les réseaux à composantes symétriques comportent souvent des transformateurs qui peuvent faciliter l'adaptation, la séparation et l'isolement. Ces réseaux varient suivant les différents pays et celui représenté figure 2.3 illustre les principes de base.

L'un ou l'autre des dispositifs ci-dessus, ainsi que les transformateurs de courant et de tension, assurent la jonction entre le réseau primaire et la liaison de téléinformation. Cette

required by the protection. It may be seen that the common section of the input winding controls the sensitivity to earth faults, on which the highest outputs are obtained. This suits many practical applications where the primary earth fault currents are often less than those for phase faults. The summation transformer generally provides output current signals, although if the core is air-gapped, the output will be in the form of a voltage signal.



RELATIVE OUTPUTS	SORTIES RESPECTIVES
R-E — n+2	R-S AND S-T — 1
S-E — n+1	R-T — 2
T-E — n	R-S-T — √3

Figure 2.1 - Summation transformer

The transformation ratio may be chosen to make the matching between relay equipment, telecommunication link and current transformers more favourable. The transformer may also provide the necessary isolation and insulation between these circuits.

(b) Phase-sequence Networks

There are many forms of these, both for current inputs and for voltage inputs. Current transformer and voltage transformer connections may provide simple forms of these as shown in figure 2.2.

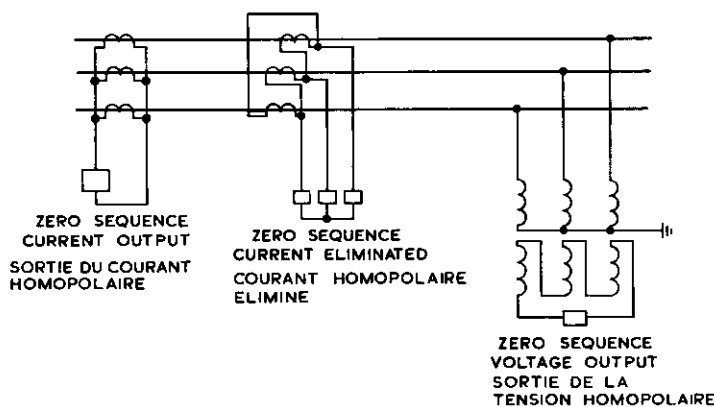


Figure 2.2 - Sequence components by connections

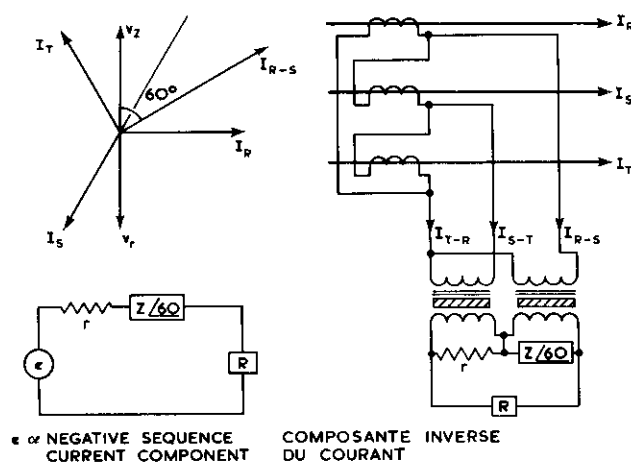


Figure 2.3 - Network for negative sequence output

In many cases, more complex networks, such as that shown in figure 2.3, are used to provide single phase output which is related to a particular sequence component of current, e.g. negative sequence + positive sequence. As with summation transformers the output will depend on the type of fault and the phases involved. Sequence networks of this type produce an output signal in the form of a voltage. Unlike the summation transformer it is usually frequency-dependent and often requires frequency filters to suppress unwanted outputs. Transformers are often included in sequence networks and these can provide matching ratio, isolation and insulation facilities. The types of sequence networks used in different countries vary and that shown in figure 2.3 is chosen to illustrate the basic principles involved.

Either of the above devices, together with associated current and voltage transformers, provides an interconnection between the primary system and the information link. This

jonction fournit l'information nécessaire sous la forme convenable, au niveau voulu et avec le degré de séparation et d'isolement requis pour l'adaptation des caractéristiques de la liaison de téléinformation à celles de l'équipement de protection. Les caractéristiques des dispositifs de sommation peuvent être simples ou complexes selon les conditions de réseau auxquelles ils doivent répondre. D'une façon générale, ils doivent fournir l'information avec précision pour des conditions très diverses, comprenant toute la gamme des courants de défaut, permanents et transitoires, et les types de défauts tels que biphasé - terre ou rupture de conducteur, le tout pour diverses valeurs des autres paramètres du réseau.

Les procédés de sommation impliquent une perte d'information dans le signal de sortie. Cela n'a en général pas d'importance pour les défauts externes puisque dans ce cas les courants primaires sont identiques aux deux extrémités d'une ligne (en négligeant le courant capacitif de la ligne) et les grandeurs de sortie secondaires sont également identiques, ce qui assure le non-fonctionnement. Pour les défauts internes les courants primaires ne sont pas nécessairement identiques et la perte d'information peut entraîner un fonctionnement défaillant. Le choix correct des prises des transformateurs de sommation ou du rapport des composants des réseaux à composantes symétriques permet de réduire considérablement ce risque. Des précautions particulières sont à prendre en ce qui concerne les circuits alimentant des transformateurs pour lesquels les conditions primaires à comparer peuvent être d'un côté ou de l'autre du transformateur.

2.2.2 - Protection différentielle longitudinale utilisant des fils pilotes

2.2.2.1 - Principes de fonctionnement

Dans une protection différentielle pure, l'information prélevée sur le réseau primaire est l'amplitude et la phase des courants primaires. Le bon fonctionnement du système dépend de la précision dans la reproduction de ces deux grandeurs sur toute la gamme des courants primaires susceptibles de se rencontrer en pratique. Les grandeurs secondaires peuvent être sous forme de courants ou de tensions ce qui conduit à deux méthodes fondamentales pour établir un circuit différentiel, l'équilibre de courant ou l'équilibre de tension, comme indiqué figure 2.4. Pour plus de simplicité, on n'a représenté qu'un seul branchement de relais, et pour une zone protégée localisée. Dans ce cas un système à équilibre de courant est préférable. Il faut un système différentiel de ce type pour chaque phase du circuit protégé.

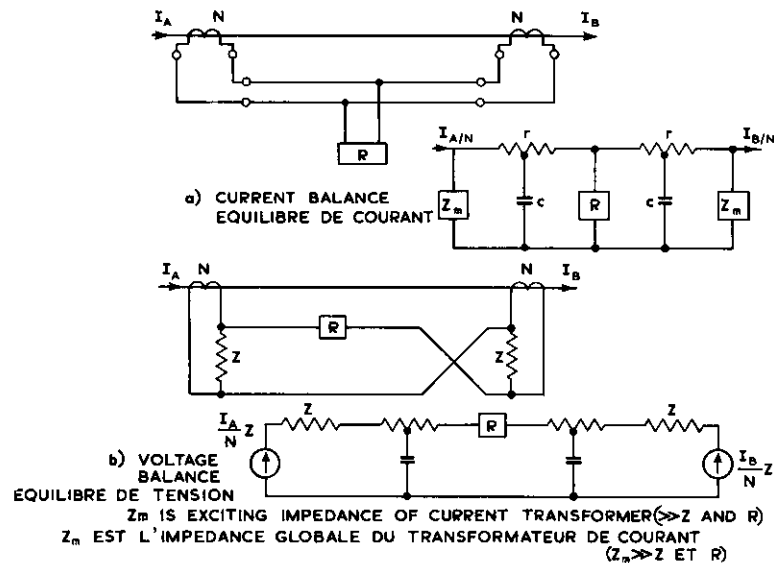


Figure 2.4 - Protection différentielle de base

Dans les deux méthodes, le relais est alimenté en fonction de la somme algébrique des courants primaires aux extrémités, ce qui procure théoriquement une sélectivité absolue entre défauts internes et externes. Ceci n'est vrai qu'avec des transformateurs de courant parfaits et si le relais est situé au centre électrique du circuit secondaire dans le cas de défauts externes. Théoriquement, les caractéristiques de la filerie de jonction n'affectent pas la sélec-

interconnection supplies the required information in a suitable form, at a suitable level and with the necessary degree of insulation and isolation to match the characteristics of summing devices may be simple or complex according to the system conditions for which they have to cater. There is a general requirement that they produce the information accurately for a variety of conditions which include range of fault current, both steady-state and transient, and types of faults such as two phase-to-ground and broken conductor, together with various values of associated system parameters.

Summation processes involve some loss of information in the output signal. This is generally not important on external fault conditions, since in this case, the primary currents are identical at the two ends of a line (ignoring line capacity current) and the secondary outputs are also identical ensuring non-operation. On internal faults, the primary currents are not necessarily identical and the loss of information may result in non-operation. By correct choice of tapings on summation transformers and proportions of components in sequence networks, the risk of such failure is negligible. Special care is necessary in the case of transformer feeders where the primary conditions compared may be on different sides of the transformer.

2.2.2 - Longitudinal Differential Protection using Pilot Wires

2.2.2.1 - Principles of Operation

In pure differential protection the information derived from the power system is of both the amplitude and phase angle of primary currents. The correctness of the system depends on the accurate reproduction of both of these quantities over the whole range of primary currents which may occur in practice. The derived secondary quantities may be in the form of current signals or voltage signals and accordingly there are two basic methods of creating a differential circuit, current balance or voltage balance, as shown in figure 2.4. For simplicity, a single relaying connection applicable to a localised zone of protection is shown and in this case, a current balance system would be preferred. One differential system of this type would be provided for each phase of the protected circuit.

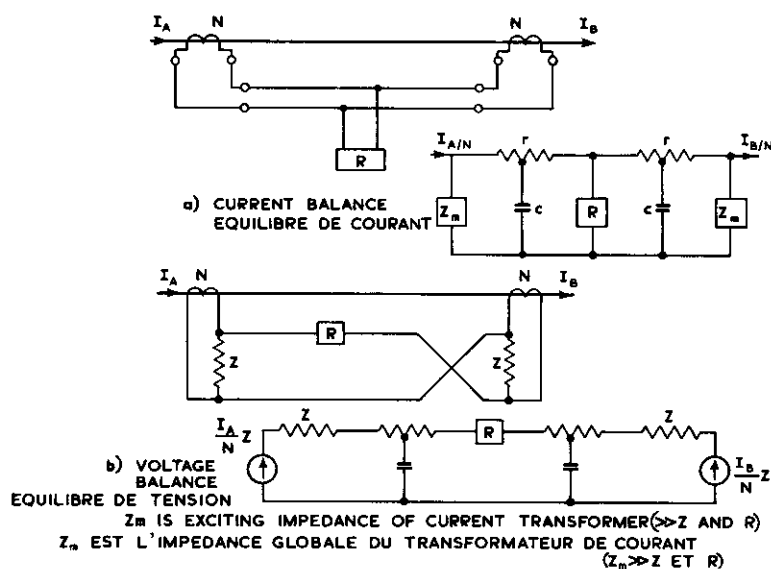


Figure 2.4 - Basic differential protection

In both methods, the relay is energised in accordance with the algebraic sum of the primary currents at the terminals and theoretically gives absolute selectivity between internal and external faults. This would be true only for perfect current transformers and a relay location at the electrical centre of the secondary circuit on external faults. Theoretically, the characteristics of the interconnecting leads do not affect this selectivity but in practice, the

tivité mais, en pratique, la résistance a de l'importance car elle a une influence sur le comportement des transformateurs de courant, surtout en régime transitoire. Pour assurer le non - fonctionnement sur défauts externes, les protections différentielles rapides doivent pratiquement faire usage d'autres dispositions telles que l'emploi de relais à haute impédance ou de relais à retenue. L'emploi de relais à haute impédance est un caractère important dans de nombreuses formes de protections différentielles appliquées à des zones protégées localisées et des détails complémentaires seront trouvés dans les références. Les relais à retenue s'emploient, pour la protection différentielle, aussi bien pour les zones localisées (transformateurs et générateurs) que pour les lignes et les câbles. Un schéma simple en est donné Figure 2.5.

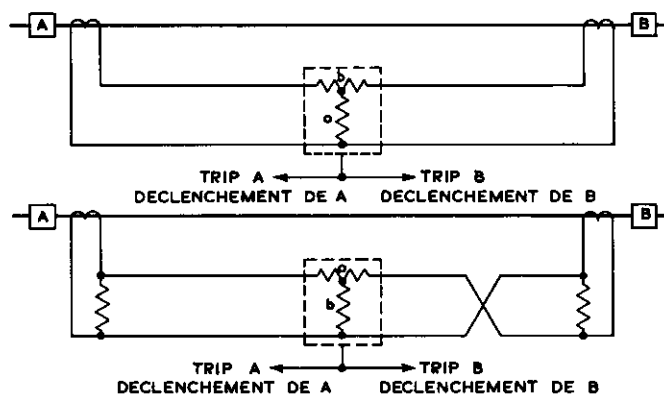


Figure 2.5 - Protection différentielle à pourcentage - un point de relaying

L'éloignement géographique des extrémités des lignes ou des câbles ne permet pas d'avoir un seul point de relaying. Il en faut un à chaque extrémité, qui commande seulement le disjoncteur correspondant, comme indiqué figure 2.6. On peut voir que le principe de l'équilibre de tension convient particulièrement dans ce cas.

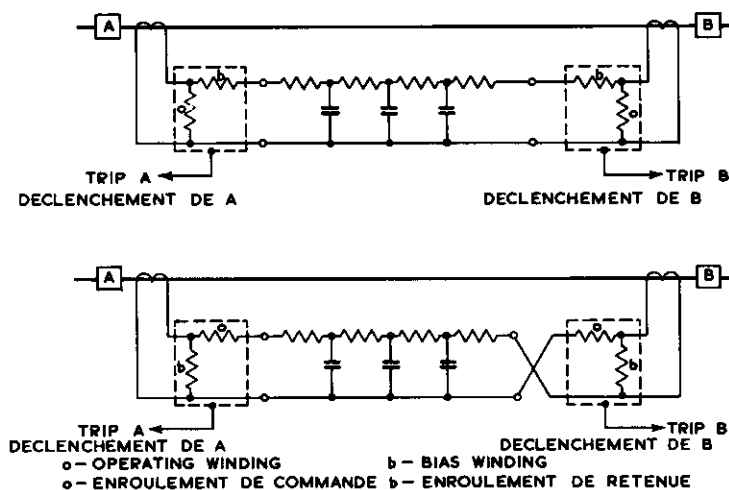


Figure 2.6 - Protection différentielle à pourcentage - deux points de relaying

Pour isoler complètement un défaut interne alimenté par une seule extrémité il est nécessaire de faire en sorte que soit les deux relais fonctionnent de par les caractéristiques de la protection, soit que l'ordre de déclenchement d'un relais soit transmis à l'autre extrémité. L'équilibre théorique, (avec des transformateurs de courant parfaits) qui est valable pour une zone protégée localisée, ne l'est pas si les points de relaying sont séparés car des courants indésirables entraînant le fonctionnement circulent pour les défauts externes et ces courants dépendent des caractéristiques électriques et de la longueur des fils pilotes de jonction. Ceci est vrai pour les systèmes à équilibre de courant comme de tension.

resistance would be important because it would influence the behaviour of practical current transformers, especially under transient conditions. To secure non-operation on external faults, practical high-speed differential protection requires other features such as high impedance relays or biased relays. The use of high impedance relays is an important feature in many forms of differential protection applied to localised zones of protection and further information is given in the references. Biased relays are used for differential protection both for localised zones (e.g. transformers and generators) and for lines and cables. A simple arrangement is shown in figure 2.5.

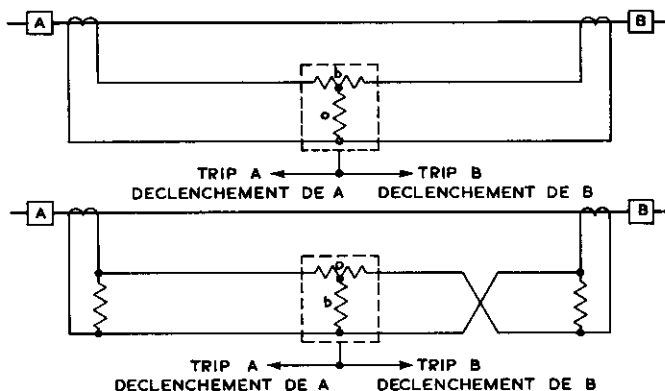


Figure 2.5 - Biased differential protection - one relaying point

The geographic separation of the ends of lines and cables makes a central relaying position impractical and each end requires a relaying point directly controlling only its associated circuit-breaker as shown in figure 2.6. It can be seen that the voltage balance principle is particularly suited to this arrangement.

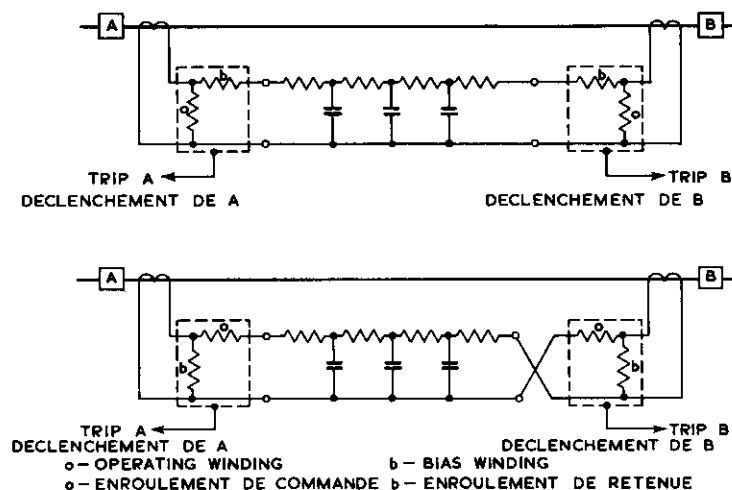


Figure 2.6 - Biased differential protection - two relaying points

For complete disconnection of an internal fault fed from one end only, it is necessary to ensure that either both relays operate because of the design features of the protection, or that the tripping signal from one relay is transmitted to the other end. The theoretical balance (with perfect current transformers) which is applied to a localised zone of protection, does not apply to the case of separate relaying points because unwanted operating currents flow on external faults and these depend on the electrical characteristics and length of the interconnecting pilot-wires. This is true for both the current balance and voltage balance systems of protection.

En général, chaque point de relaying dispose de deux éléments d'information qui lui permettent de tenir compte des conditions à l'autre point de relaying et de décider si le défaut est extérieur ou intérieur à la zone protégée. Ces éléments sont :

- (a) La tension aux bornes des fils pilotes
- (b) Le courant dans les fils pilotes

Les protections à équilibre de courant et de tension sont fondamentalement semblables à ce point de vue, bien que l'alimentation et le sens de branchement des relais diffèrent. L'équivalence des deux systèmes apparaît en représentant le transformateur de courant et sa charge parallèle par la force électromotrice et l'impédance série équivalentes (Fig. 2.7). Dans les deux cas (si l'on fait abstraction des bas niveaux d'alimentation) les relais peuvent être considérés comme des comparateurs à deux entrées qui fonctionnent pour une valeur donnée du rapport de ces deux entrées, c'est-à-dire, dans ce cas, l'impédance apparente (ou l'admittance) des fils pilotes. On peut montrer comme suit l'importance de cette impédance.

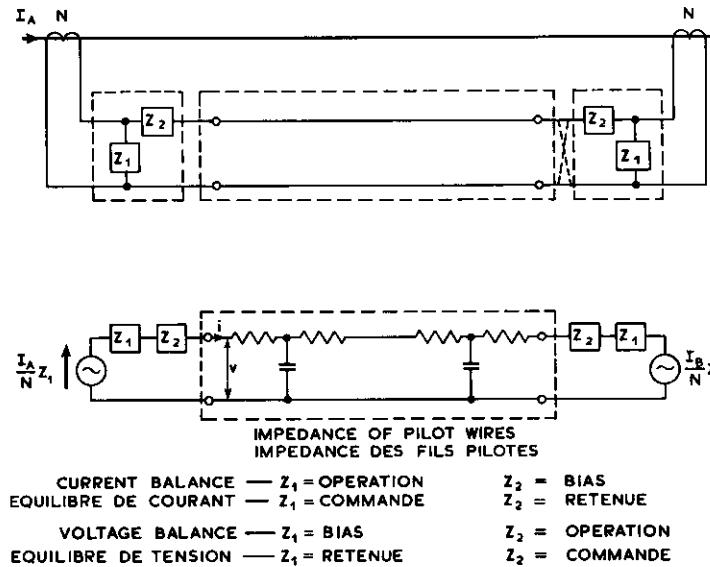


Figure 2.7 - Equivalence des systèmes à équilibre de tension et de courant

Deux cas sont à considérer. L'alimentation unilatérale, qui doit être équivalente à un défaut interne, et l'alimentation bilatérale qui peut correspondre à un défaut interne ou externe selon le système considéré. Ces cas sont représentés figure 2.8 et l'on peut voir que dans le premier cas, le relais voit l'impédance totale du pilote et son impédance terminale, et que pour l'alimentation bilatérale il voit soit l'impédance du pilote ouvert à mi-longueur, soit l'impédance du pilote court-circuité à mi-longueur. On peut estimer le pouvoir de discrimination de la protection entre défauts internes et externes en considérant ces impédances sous forme complexe comme indiqué figure 2.9. Des schémas de protection à fils pilotes ont été utilisés, dans lesquels les relais n'étaient sensibles qu'au module de l'impédance du pilote tandis que d'autres sont conçus pour tenir compte du module et de l'argument de l'impédance apparente comme indiqué figure 2.10. Il faut noter que, dans l'impédance du pilote, il faut tenir compte de l'effet des charges inductives.

Les principes exposés ci-dessus montrent l'importance fondamentale des caractéristiques et de la longueur des fils pilotes. Lorsqu'elles restent dans certaines limites, il est possible d'utiliser des formes relativement simples de protection différentielle, dans lesquelles la sélectivité et la sensibilité sont satisfaisantes et pratiquement indépendantes des paramètres particuliers des fils pilotes. Cette façon de faire peut s'appliquer, par exemple, à des protections utilisant des fils pilotes privés et pour des distances atteignant 15 à 20 km. Dans les autres cas, lorsque la longueur ou le type des fils pilotes interdisent d'appliquer cette solution simple, par exemple pour des fils pilotes en location sur des distances de l'ordre de 50 km, d'autres dispositions sont en général nécessaires. Une solution classique consiste à introduire dans le relaying de chaque extrémité des impédances images qui, en compensant

In general, each relaying point has available two pieces of information whereby the conditions at the other relaying point may be assessed and the decision made as to whether the fault is internal or external to the protected zone. This information is :

- (a) The voltage at the pilot-wire terminals
- (b) The current in the pilot-wires

Both the current balance and voltage balance forms of protection are fundamentally similar in this respect, although the relay inputs and polarity of interconnection differ. The equivalence of the two systems is seen if the shunt loaded current transformer is shown by its equivalent voltage source and series impedance as in figure 2.7. In both cases (ignoring low level conditions of energisation) the relays may be considered as two input comparators which will operate for some critical value of the ratio of the two inputs, i.e. in this case, the apparent impedance (or admittance) of the pilot-wires. The importance of this impedance may be shown as follows.

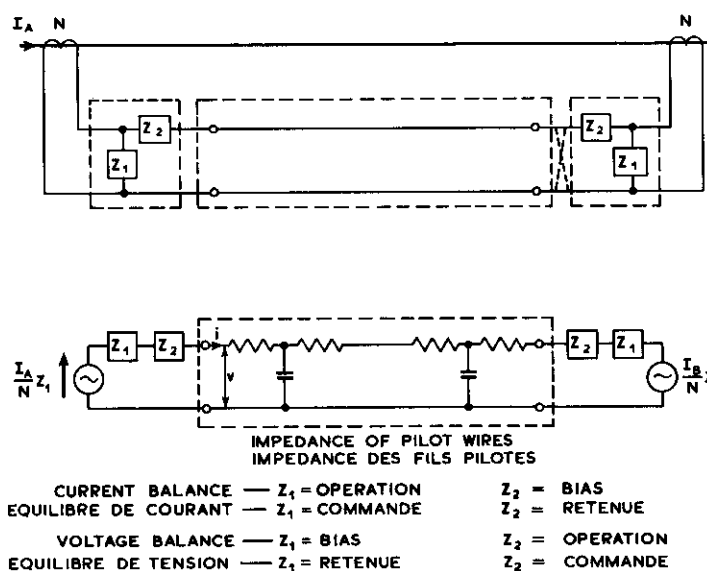


Figure 2.7 - Equivalence of voltage balance and current balance systems

Two basic conditions may be considered. One of energisation from one end only, which must be equivalent to an internal fault, and secondly, equal energisation from both ends which may be an internal fault or an external fault according to the system used. These are shown in figure 2.8 and it can be seen that the relay experiences the total pilot-wire impedance and termination impedance in the first case, and for equal energisation at both ends, either the open-circuited impedance of half the pilot wires or the short-circuited impedance of half the pilot wires. Some measure of the ability of the protection to distinguish between internal and external faults can thus be obtained by considering these impedances in their complex form as shown in figure 2.9. Schemes of pilot wire protection have been used in which the relays are responsive only to the magnitude of the pilot wire impedance and others have included features which take account of both the phase angle and magnitude of the apparent pilot wire impedance as shown in figure 2.10. It should be noted that the pilot-wire impedances should include the effect of such features as inductive loading.

The above basic principles show the fundamental importance of the characteristics and length of pilot-wires. Within certain limits of these, it is possible to use relatively simple forms of differential protection in which the selectivity and sensitivity are adequate and substantially independent of the particular parameters of the pilot-wires. Such an approach is possible, for example, for protection using private pilot-wires up to 15 - 20 km. in length. In other cases, where the length or type of pilot-wire precludes this simple approach, for example, rented pilot-wires up to lengths of, say, 50 km., additional features are generally necessary. A typical solution of such problems is to introduce, in the relay equipment at each end mimic impedances which compensate for the effects of the pilot-wires and so improve the capability of the protection to select between internal and external fault conditions. An exam-

l'effet des fils pilotes, augmentent l'aptitude de la protection à discriminer entre défauts internes et externes. Un exemple d'application en est donné figure 2.11, d'après lequel on voit l'importance des paramètres des fils pilotes pour le choix des impédances images, aussi bien initialement que plus tard, si l'itinéraire doit être changé.

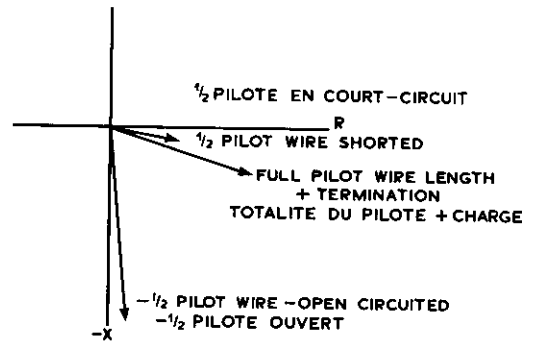
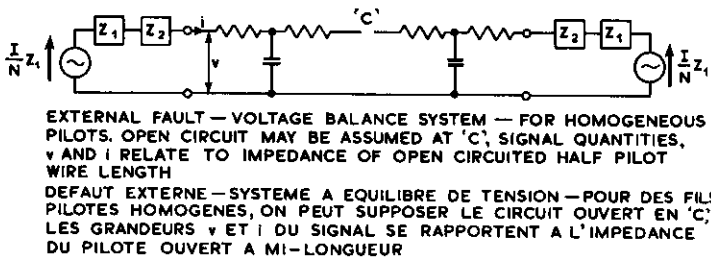
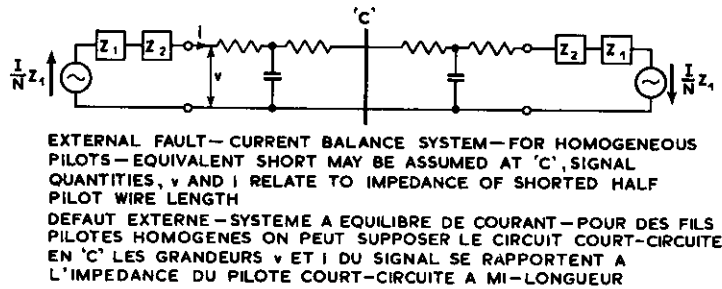
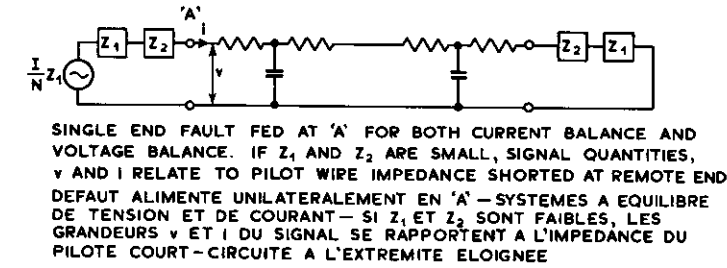


Figure 2.9 - Impédances de base des pilotes

Figure 2.8 - Relations de base entre l'impédance des fils pilotes et la sélectivité

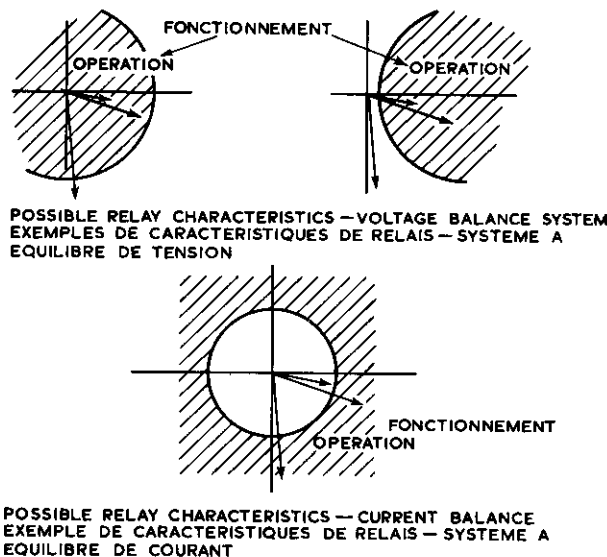


Figure 2.10 - Caractéristiques des relais en fonction de l'impédance du pilote

ple of how this may be done is shown in figure 2.11, from which it will be seen that the pilot-wire parameters are important in the choice of mimic impedance both initially, and if the route has to be changed at a later date.

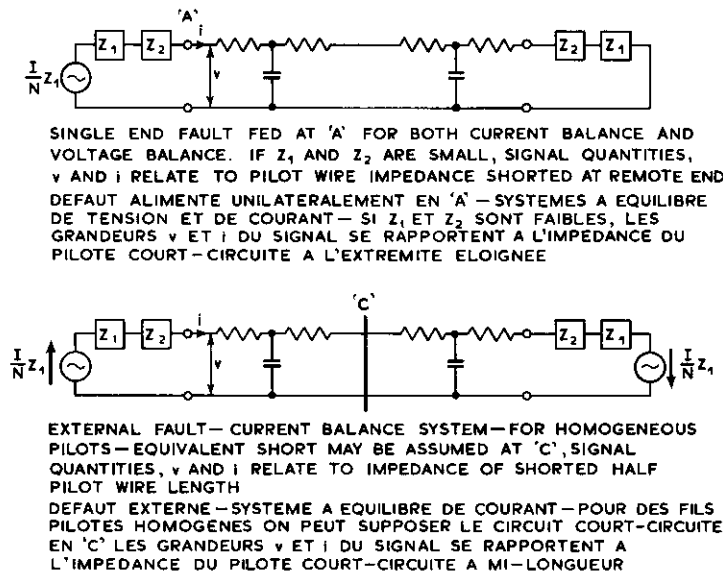


Figure 2.8 - Basic relationship between pilot wire impedance and selectivity

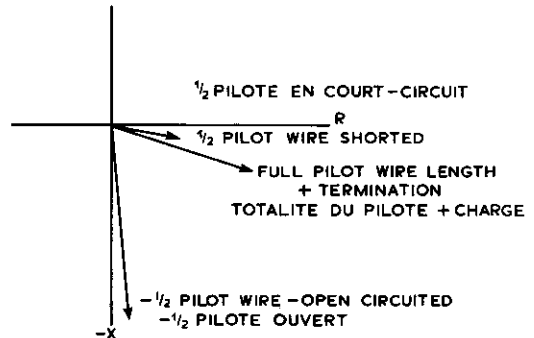


Figure 2.9 - Basic impedances of pilots

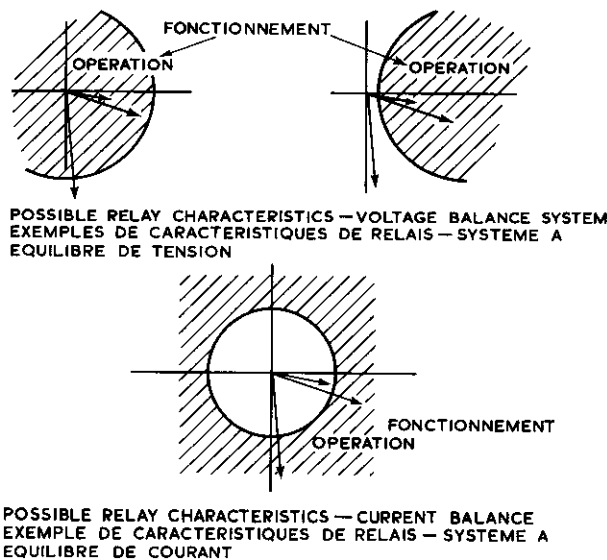


Figure 2.10 - Relay characteristics in relation to pilot impedances

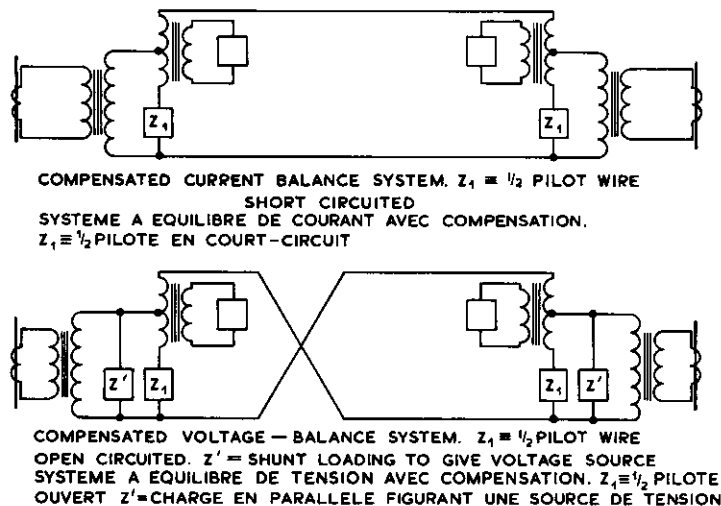


Figure 2.11 - Compensation de l'impédance du pilote pour les défauts externes

2.2.2.2 - Caractéristiques des fils pilotes

L'importance de ces caractéristiques a été soulignée dans la section précédente. Les types de fils pilotes utilisés pour la protection différentielle longitudinale sont indiqués dans le tableau 3-1, mais il importe de réaliser que certaines caractéristiques ont plus ou moins d'importance selon le type employé. Les tableaux 3-3, 3-4 et 3-5 donnent quelques paramètres fondamentaux des types de fils pilotes considérés comme représentatifs et la Section 3.2. commente leur emploi pour la protection différentielle, sous l'angle des télécommunications. La section 3.1. discute de plusieurs caractéristiques des fils pilotes, qui sont importantes non seulement pour la conception d'un système de protection mais aussi pour son application à un réseau donné.

Les caractéristiques principales les plus importantes qu'il convient de garder en mémoire sont les suivantes :

- La longueur et les paramètres électriques de résistance et de capacité entre conducteurs décident du type du système à employer et de la nécessité éventuelle d'impédances images. Si le câble est chargé inductivement, il convient d'en tenir compte.
- La sensibilité des fils pilotes aux perturbations doit être considérée, ainsi que l'amplitude relative de celles-ci par rapport au niveau des signaux utilisés (voir sections 2.2.2.3 et 3.2).
- La fiabilité globale dépend de la fiabilité des fils pilotes, ce dont il faut tenir compte, particulièrement pour les circuits en location (voir sections 2.2.2.4 et 3.1.1).
- La conception doit tenir compte des valeurs maximales de tension et de courant admises, qu'elles soient inhérentes au câble ou fixées par des règlements (voir section 2.2.2.5 et 3.2.5).

2.2.2.3 - Perturbations et bruit

Les perturbations les plus importantes sur les fils pilotes sont les tensions résultant soit de l'induction électromagnétique entre les conducteurs du réseau et les fils pilotes, soit de différences entre les potentiels de terre des deux extrémités. Ces deux effets sont engendrés par les défauts et leur importance découle du fait qu'ils sont à la fréquence du réseau et se produisent au moment où il faut que la protection fonctionne. Ce type de perturbations est discuté avec plus de détails dans la section 3.2.3 où sont données également des valeurs courantes de tensions induites.

Les grandeurs qui doivent agir dans une protection différentielle longitudinale sont injectées en série dans la boucle des fils pilotes. Donc les tensions induites longitudinalement n'ont pas d'action sur le fonctionnement si l'on fait en sorte que l'induction soit égale sur les

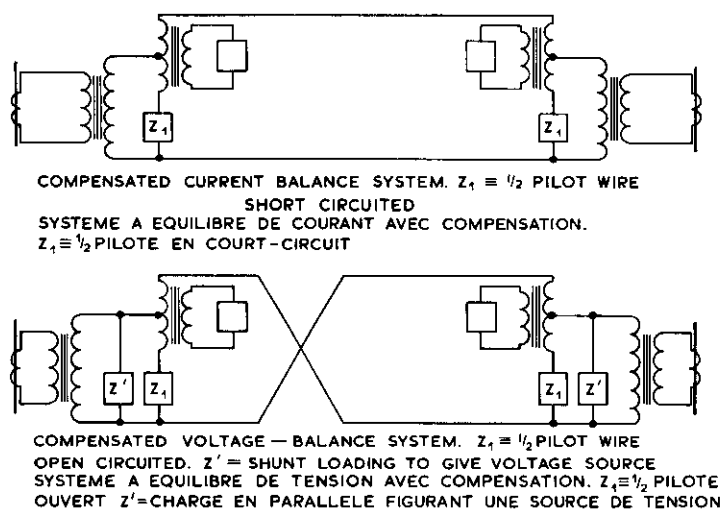


Figure 2.11 - Compensation for pilot wire impedance on external faults

2.2.2.2 - Characteristics of Pilot-Wires

The importance of these has been established in the preceding section. The types of pilot-wires used for longitudinal differential protection are shown in Table 3-1, but it must be appreciated that certain characteristics have differing degrees of importance according to the type used. Tables 3-3, 3-4 and 3-5 give some of the basic parameters of representative types of pilot-wires and Section 3.2 comments from a telecommunication point of view on the use of these for differential protection. Section 3.1 discusses many of the characteristics of pilot-wires which are significant not only to the design of a system of protection, but also to its application to a particular power system.

The main most important characteristics which need to be borne in mind are :

- (a) The length and electrical parameters of resistance and intercore capacitance decide the type of system used and whether this requires mimic compensation of the pilot-wires or not. Where loading coils are used, these are to be included.
- (b) The susceptibility of the pilot-wires to interference and the magnitude of these effects compared with the signal levels used (see Sections 2.2.2.3 and 3.2).
- (c) Overall reliability is dependent on the reliability of pilot-wires and this factor should be taken into account especially with the rented type (see Sections 2.2.2.4 and 3.1.1).
- (d) The electrical characteristics of maximum voltage and current are important in design, whether these result from the inherent electrical capabilities or from the regulations governing the use of the pilot-wires (see Sections 2.2.2.5 and 3.2.5).

2.2.2.3 - Interference and Noise

The most important type of interference on pilot-wires is voltage resulting from either magnetic induction between the power system conductors and the pilot-wires or the shifting in earth potential between the ends. Both these effects are associated with fault conditions and are therefore especially important because they are mostly at power frequency and occur at the same time as the protection is required to function. This type of interference is discussed in more detail in Section 3.2.3 which also includes typical values of induced voltages.

The operating quantities in longitudinal differential protection are developed within the loop of the pilot-wires and thus longitudinally induced voltages do not act in an operating sense provided the induction is equalised on both wires. They do, however, cause stressing of the

deux conducteurs. Ces tensions créent néanmoins une contrainte sur l'isolement des fils et de l'appareillage qui leur est connecté et il convient d'en tenir compte dans le choix des fils pilotes et dans la conception des appareils terminaux. Pour rendre l'induction égale sur les deux fils, il faut en général employer des conducteurs torsadés dans le cas de câbles, ou les transposer régulièrement dans le cas de lignes aériennes. Même avec ces précautions, il vaut mieux éviter d'employer des relais à seuil de fonctionnement trop bas. Par exemple une tension de fonctionnement de l'ordre de 10 à 50 volts (valeur courante en pratique) ne représente qu'un déséquilibre de 0,1 à 0,5 % entre les conducteurs pour une tension induite longitudinale de 10 kV.

Les dispositifs destinés à protéger les fils pilotes contre les surtensions, parafoudres ou bobines d'écoulement, (voir section 3.3.3) peuvent perturber le fonctionnement correct de la protection et il convient d'en éviter l'emploi dans la mesure du possible. Dans le cas des bobines d'écoulement, il se peut que les courants importants engendrés dans les fils pilotes pendant la limitation de tension produisent des chutes de tension différentes entre fils et entraînent le fonctionnement du relais. Si l'on emploie des bobines d'écoulement, il peut être indispensable, dans les cas difficiles, d'équilibrer les conducteurs du pilote.

L'incidence des effets discutés ci-dessus et dans la section 3.2.3 dépend beaucoup du type des fils pilotes et de leur position par rapport aux conducteurs du réseau. Dans le cas de câbles souterrains posés à côté des câbles d'énergie, ces effets ont une importance, mais qui n'est pas excessive. Un niveau d'isolement de 2 kV efficaces est considéré en général comme suffisant et le déséquilibre est suffisamment faible si l'on emploie des conducteurs torsadés. Le cas est le même pour les pilotes en câbles souterrains placés sous des lignes aériennes munies de câbles de terre. Pour les fils pilotes en location situés dans des câbles de l'Administration des P.T.T., les effets de l'induction sont beaucoup plus faibles mais l'on rencontre d'autres exigences (voir section 2.2.2.5). Les fils pilotes en câbles autoporteurs sur les appuis de lignes aériennes ou sur des appuis séparés proches de la ligne posent le problème d'une induction élevée et ces câbles, comme les relais associés, requièrent un niveau d'isolement plus fort, de 3 à 10 kV selon les applications. Le cas serait le même pour les fils pilotes en nappe aérienne sur les mêmes appuis que la ligne d'énergie.

2.2.2.4 - Sécurité de fonctionnement

Ce point est discuté de façon générale dans la section 3.1 et plus particulièrement en ce qui concerne les fils pilotes à la section 3.2.4. Certains aspects de la sécurité en liaison avec la protection longitudinale par fils pilotes sont examinés ci-dessous.

Les tensions induites citées plus haut agissent sur la protection par leur tendance à la faire fonctionner et créent ainsi une possibilité de déclenchement intempestif pour les défauts externes plutôt que de défaillance au déclenchement pour les défauts internes. Pour assurer la sécurité de fonctionnement dans ce domaine, il est nécessaire de coordonner les valeurs de réglage de la protection avec les tensions induites que l'on peut attendre en raison du choix des fils pilotes et de leur couplage avec les conducteurs primaires.

Une défaillance des fils pilotes peut affecter le fonctionnement de la protection des différentes façons suivantes :

Court-circuit des fils pilotes : Le système à équilibre de tension déclenche de façon intempestive pour les défauts externes et correctement pour les défauts internes.

Pour le système à équilibre de courant, si le court-circuit est proche du milieu du pilote, une défaillance au déclenchement se produirait pour les défauts internes mais la protection resterait inerte pour les défauts externes. Si le court-circuit est proche d'une extrémité du pilote, la protection déclencherait intempestivement pour les défauts externes et, pour les défauts internes, ne déclencherait qu'à l'extrémité opposée à celle où il existe un court-circuit sur le pilote.

Ouverture des fils pilotes : Le système à équilibre de tension serait défaillant au fonctionnement sur défauts internes mais resterait inerte sur défauts externes.

Le système à équilibre de courant fonctionnerait correctement sur défauts internes mais aurait un fonctionnement intempestif sur défauts externes.

Inversion des fils pilotes : Les deux systèmes, à équilibre de tension ou de courant, auraient un fonctionnement intempestif sur défauts externes et vraisemblablement un fonctionnement défaillant sur défauts internes si les courants de défauts des deux extrémités étaient du même ordre de grandeur.

insulation of both the pilot-wires and the equipment connected to them and this must be taken into account in the choice of pilot-wires and the design of the terminal equipment. To equalise induction it is necessary generally to use twisted cores in pilot-wire cables and regular transposition in the case of open pilot-wires. Even with these precautions it is generally necessary to avoid the use of relays with too low a minimum operating level. For example, a relay operating voltage of the order of 10 - 50 V (the range generally used in practice) represents only 0.1 - 0.5 % unbalance between the cores for a longitudinally induced voltage of 10 kV.

Devices intended to protect the pilot wires against excessive voltages, e.g. protectors and drainage coils, can interfere with the correct functioning of protection and the use of these is avoided whenever possible. In the case of drainage coils, the high currents produced in the pilot-wires during voltage limitation may produce differences in resistive voltage drops which can act as an operating voltage on the relay. If drainage coils are used balancing of the pilot-wire cores may be required in difficult cases.

The significance of the effects discussed above and in Section 3.2.3 are greatly dependent on the type of pilot-wires used and their disposition relative to the power system conductors. In the case of underground pilot-wire cables run close to the power cables, the effects are significant but not excessive. An insulation level of approximately 2 kV r.m.s. is generally considered adequate and the unbalance in induction is sufficiently low provided twisted cores are used. Similar conditions apply to underground pilot-wire cables run beneath an overhead line provided with an earth wire. For pilot-wire cables rented from a P.T.T. authority the induced effects are much lower but other special requirements are incurred (see Section 2.2.2.5). Pilot-wire cables run as catenaries on the towers of overhead lines or on separate poles close to the overhead line, present a problem of high induction and these cables and the connected relay equipment generally require higher insulation levels between 3 - 10 kV according to the particular application. Open pilot-wires run on the same towers as the overhead line would have similar values.

2.2.2.4 - Reliability

This is discussed broadly in Section 3.1 and in particular for pilot-wires in Section 3.2.4. Some special aspects of reliability and security in relation to longitudinal protection using pilot wires are as follows.

The induced voltage effects discussed above act on the protection in an operating sense and thus create a possibility of incorrect tripping on external faults rather than failure to trip on internal faults. To obtain reliability in this respect it is necessary to relate the operating values of the protection to the induction effects to be expected from the choice of pilot wires and their mutual coupling with the primary conductors.

Failures of the pilot wires may affect the functioning of the protection in different ways according to the type of system as follows :

Short-circuit between pilot wires - a voltage balance system would trip incorrectly on external faults and trip correctly on internal faults.

For a current balance system, if the short-circuit were near the centre of the pilot wires, failure to trip on internal faults would occur but the protection would remain inoperative on external faults. If the short-circuit were near one end of the pilot wires the protection would trip incorrectly on external faults and, on internal faults, would only trip at the end remote from that at which the short-circuit exists on the pilot wires.

Open-circuited pilot wires - a voltage balance system would fail to operate on internal faults but would remain inoperative on external faults.

A current balance system would operate correctly on internal faults but would also operate incorrectly on external faults.

Reversal of pilot wires - both voltage balance and current balance systems would operate incorrectly on external faults and would be likely to fail to trip on internal faults if the fault currents at the two ends were of the same order.

Dans l'estimation de la fiabilité et de la sécurité globales, il faut tenir compte du risque de défaillances, telles que celles décrites ci-dessus, propre à chaque type de pilote. Ce risque n'est pas considéré comme important dans le cas de pilotes en câbles souterrains privés. Les pilotes en lignes aériennes sont souvent plus soumis aux détériorations mécaniques et doivent être traités spécialement. Les fils pilotes loués à l'Administration des P.T.T. sont souvent considérés comme présentant un risque de défaillance plus grand et méritent en conséquence un traitement spécial. Dans ce dernier cas, comme dans ceux où l'on considère que le risque est élevé, l'intégrité du circuit pilote est généralement contrôlée en permanence par un dispositif de surveillance tel que celui de la figure 3.10. Les dispositifs de surveillance de ce genre avertissent de la défaillance mais en général n'empêchent pas le déclenchement. La sécurité du système est alors accrue si l'on fixe la sensibilité aux courants de défaut triphasés au-dessus du courant nominal du circuit protégé. Ceci réduit le risque de déclenchement intempestif.

2.2.2.5 - Règlements limitatifs

Les règlements limitatifs applicables aux fils pilotes et mentionnés à la section 3.2.5 ont une grande importance pour la protection différentielle longitudinale, et en particulier la fixation de tensions et de courants maximaux. Dans un système différentiel vrai, tensions et courants varient linéairement avec le courant de défaut et la puissance fournie aux relais à leur réglage normal serait relativement faible avec les règlements couramment appliqués, c'est-à-dire 130 volts crête et 50 mA au maximum. Dans de nombreux cas, ceci exigerait des relais particulièrement sensibles qui seraient sujets à un fonctionnement intempestif sur défauts externes en raison des perturbations déjà mentionnées. Dans de tels cas, on emploie souvent des dispositifs limiteurs non-linéaires comme ceux de la figure 2.12. Ils limitent habituellement les grandeurs appliquées aux fils pilotes à des valeurs correspondant à des courants de 2 à 3 fois le courant nominal. Ceci permet de relever le réglage du relais tout en respectant les valeurs limites sur les fils pilotes, mais transforme la protection différentielle vraie en système à comparaison de phase, pour les courants importants, car la notion d'amplitude des courants secondaires est perdue.

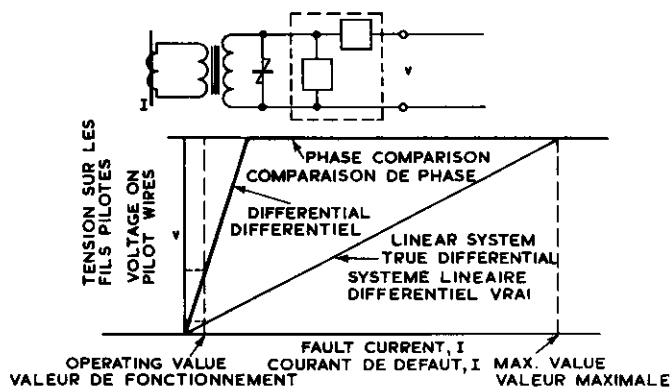


Figure 2.12 - Emploi de la limitation

L'Administration des P.T.T. exige souvent un fort isolement (par exemple 15 kV) entre fils pilotes et équipement terminal dans les postes électriques, ce qui soulève des problèmes de conception des équipements de protection. Lorsque l'emploi de parafoudres est imposé, il convient de vérifier que leur action n'est pas néfaste à la sécurité de la protection.

2.2.2.6 - Indications d'emploi

La protection différentielle longitudinale est un système sélectif efficace et de haute rapidité dont les applications sont nombreuses pourvu que l'on puisse se procurer économiquement des fils pilotes d'une fiabilité et d'une sécurité suffisantes. Dans cette forme de protection, la dépense principale réside dans les fils pilotes et est sensiblement proportionnelle à leur longueur alors que les équipements terminaux sont relativement peu coûteux. Le prix des autres formes possibles de protection, par exemple protection par courants porteurs sur ligne ou protection de distance, est en totalité dans les équipements terminaux. Le domaine d'application de la protection différentielle longitudinale est donc celui des circuits à protéger courts, par exemple lignes aériennes ou câbles jusqu'à une longueur de 50 km, pour des raisons à la fois économiques et techniques.

In assessing overall reliability and security, consideration should be given to the risk of failures, such as those described above, occurring with a particular system of pilot wires. This risk is not considered to be very great in the case of privately owned underground pilot wires. Overhead pilot wires are often more susceptible to mechanical damage and may need special consideration. Pilot wires rented from P. T. T. authorities are often considered to have a higher risk of failure and consequently merit special consideration. In the latter, as with other cases where the risk is considered high, the soundness of the pilot wires is generally continuously checked by a supervisory scheme such as shown in figure 3.13. Supervisory schemes of this type give warning that the pilot wires have failed but do not usually prevent tripping by the protection. The security of the system is improved in such cases by choosing a sensitivity to three-phase fault currents which is above the rated current of the protected circuits. This reduces the risk of unwanted tripping.

2.2.2.5 - Restricting Regulations

The restricting regulations applicable to pilot wires mentioned in Section 3.2.5 have important effects in relation to longitudinal differential protection. Particularly important are limitations to maximum voltage and current in pilot wires. With a true differential system these would vary linearly with fault current and the power available to the relay at its setting would be relatively small with the limitations applicable in practice, e.g. 130 V pk and 50 mA maximum. In many cases this would require an exceptionally sensitive relay which might be subject to incorrect operation on external faults due to the interference effects already mentioned. In such cases, non-linear limiting devices are often applied as shown in figure 2.12. They usually limit the quantities applied to the pilot wires at currents above 2 to 3 times rated current. This effectively increases the relay setting while still maintaining the limiting values of voltage and current on the pilot wires but it changes the protection from a true differential system to a phase comparison system at high currents because the magnitude of the derived signals is lost.

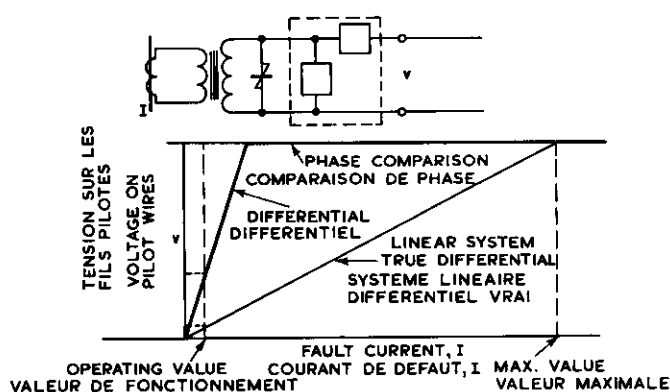


Figure 2.12 - Use of limiting

P.T.T. Authorities often require a high level of insulation, e.g. 15 kV, between pilot wires and power station equipment and this introduces design problems in the protection equipment. Where protectors are specified these need careful checking to prevent loss of security of the protection system due to these devices.

2.2.2.6 - Notes on Application

Longitudinal differential protection is an effective high speed selective system for many applications provided pilot wires of suitable reliability and security can be obtained economically. For this form of protection the major cost is generally in the pilot wires and is almost proportional to their length, whereas the terminal relay equipment is comparatively inexpensive. The cost of alternative forms of protection, e.g. power line carrier or distance, is entirely in the terminal equipment. The favourable sphere of application for longitudinal differential protection is thus for the shorter lengths of protected circuits, e.g. cables and overhead lines up to about 50 km., for both economic and technical reasons.

Le choix peut être influencé par le fait que la protection différentielle longitudinale ne donne pas les moyens de réaliser une protection de réserve, qui doit alors être prévue séparément.

Il peut être nécessaire d'employer des relais de mise en route, lorsque les fils pilotes ne sont pas disponibles en permanence pour la protection sélective. C'est le cas lorsque les fils pilotes sont normalement raccordés à des équipements de téléinformation ou de téléphonie, ce qui est fréquent si les fils pilotes sont loués aux P.T.T. Ces relais de mise en route sont des éléments non-sélectifs placés à chaque extrémité, comme indiqué figure 2.13 et possèdent souvent deux seuils, haut et bas.

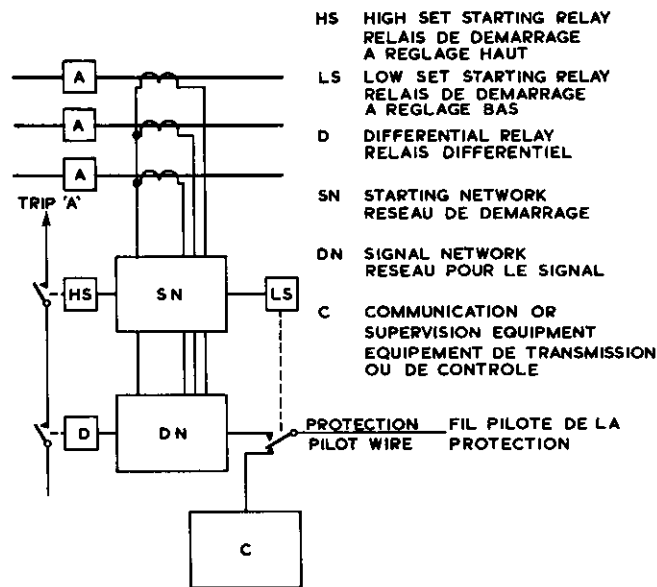


Figure 2.13 - Emploi de relais de démarrage à réglages haut et bas

Des valeurs de réglage primaires de 20 à 50 % du courant nominal pour les défauts à la terre, et de 100 à 300 % pour les défauts entre phases, sont courantes. Les valeurs pratiquement utilisées dans ces gammes sont plus élevées si l'on emploie des relais de mise en route. Il est souvent nécessaire que la valeur de réglage pour les défauts triphasés soit supérieure au courant nominal dans le cas où les fils pilotes sont sujets à défaillance, ce qui réduit les risques de déclenchement intempestif (voir section 2.2.2.4). Les temps de fonctionnement sont de 40 à 100 ms suivant le système et les caractéristiques des fils pilotes. Le non-fonctionnement sur défauts externes est couramment conservé jusqu'à des courants de 20 à 30 fois le courant nominal.

La protection différentielle longitudinale peut être employée sur les circuits à extrémités multiples (lignes en T ou piquages). Les systèmes à équilibre de tension comme de courant sont utilisables, mais nécessitent souvent l'emploi de trois ou quatre fils pilotes, contre deux pour un circuit à deux extrémités. Les caractéristiques des fils pilotes ont une importance primordiale et il est souvent nécessaire d'égaliser les différentes branches pour les aligner sur une valeur unique. L'application du principe de la comparaison de phase aux circuits à extrémités multiples (voir section 2.4) n'est pas toujours aisée et l'emploi de limiteurs non-linéaires pas toujours possible, sauf si la puissance réinjectée par les piquages est faible ou négligeable. En raison de cette difficulté à utiliser des limiteurs non-linéaires, l'emploi de fils pilotes en location est souvent impossible pour les circuits à extrémités multiples.

2.2.3 - Protection à comparaison de phase

2.2.3.1 - Principes de fonctionnement

La phase relative des courants primaires aux deux extrémités d'un circuit peut être utilisée comme le critère de fonctionnement d'une protection sélective indépendante, comme indiqué figure 2.14. On peut voir que l'information relative à l'amplitude des signaux dérivés des courants primaires est éliminée par mise sous forme de signaux carrés ou par écrêtage avant

The choice may be influenced by the fact that longitudinal differential protection does not afford any back-up protection, which would thus have to be a separate provision.

Starting relays may be required in cases where the pilot wires are not continuously available for selective protection. This may occur when the pilot wires are normally connected to supervision or communication equipment. This is often so when the pilot wires are rented from P.T.T. Authorities. Starting relays are non-selective elements at each end as shown in figure 2.13 and are often two-stage, i.e. with high-set and low-set features.

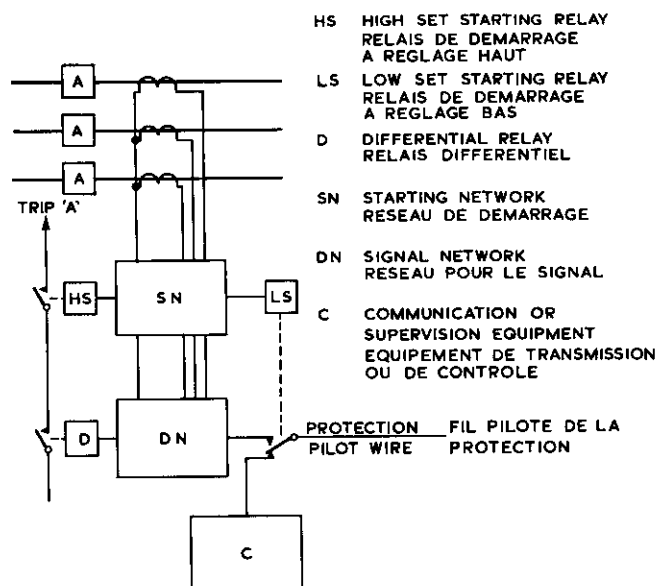


Figure 2.13 - Use of high set and low set starting relays

Primary operating values in the ranges of 20 - 50 % rated current for earth fault and 100 - 300 % for phase fault are typical. The actual values within these ranges will be higher when starting relays are required. It is often necessary to keep the three phase operating value above rated current in the case of pilot wires subject to failure. This reduces the risk of incorrect tripping (see Section 2.2.2.4). Operating times are of the order of 40 - 100 ms according to the type of systems and the characteristics of the pilot wires. Non-operation on external faults will be preserved typically for transmission systems up to currents of the order of 20 to 30 times rated current.

Longitudinal differential protection may be applied to the multi-ended circuits caused by teeing or tapping. Both current balance and voltage balance systems are feasible but these often require the use of three or four pilot wires compared with the two required for a two-ended circuit. The characteristics of the pilot wires are again very important and it is often necessary to balance the various branches of the pilot wires to one specific value. The application of the phase comparison principle to multi-ended circuits (see Section 2.4) has some limitation and the use of non-linear limiting devices is not always practical except where, for example, the back-feed from the tees or taps is either small or negligible. Because of this difficulty in using non-linear limiters the use of rented pilot wires for multi-ended applications is often impracticable.

2.2.3 - Phase Comparison Protection

2.2.3.1 - Principles of Operation

The relative phase angle between the primary currents at the two ends of a circuit can be used as the operating criterion of an absolutely selective protection as shown in figure 2.14. It can be seen that information of the amplitude of the signals derived from the primary currents is eliminated by squaring or limiting before the signals are fed to a comparing device.

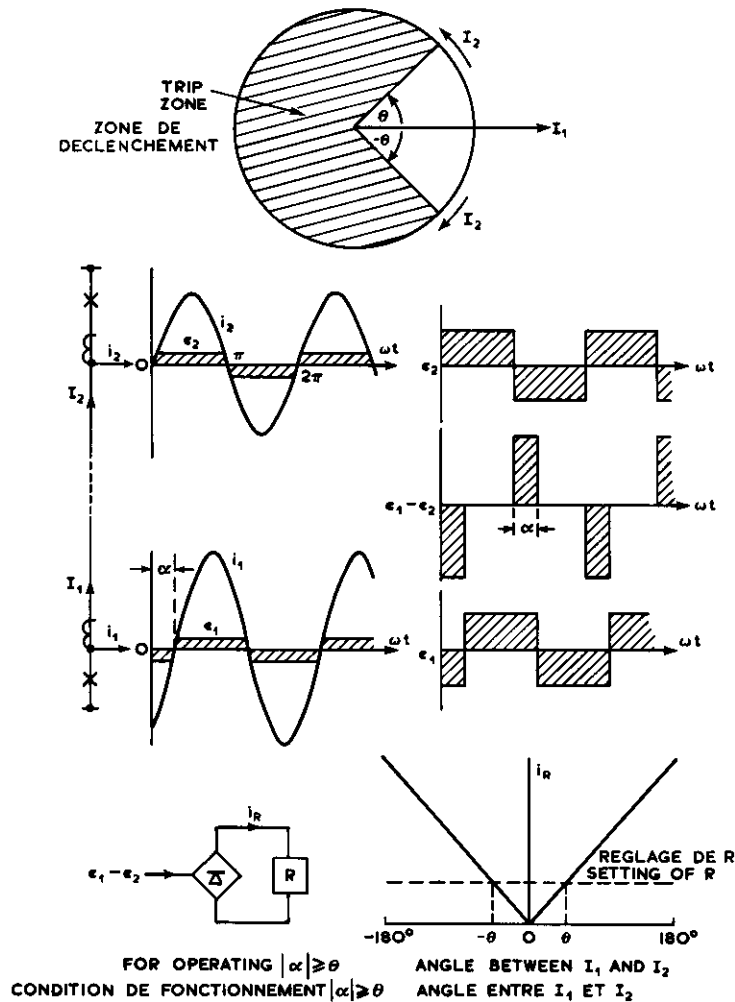


Figure 2.14 - Concept de base de la protection à comparaison de phase

que ces signaux ne soient introduits dans un comparateur. Le signal de sortie de ce comparateur varie en général comme indiqué et est indépendant des amplitudes relatives des signaux originaux. Si la sortie du comparateur alimente un détecteur de seuil, on définit, pour la protection, des zones angulaires de fonctionnement et de non-fonctionnement comme le montre la figure 2.14. Cette caractéristique angulaire doit être choisie de telle sorte que la protection déclenche pour les défauts internes et reste inerte pour tous les défauts externes. La sélectivité peut être obtenue à l'aide de ce critère de phase relative car le déphasage entre courants primaires est relativement faible pour un défaut externe alors qu'il est important pour un défaut interne. Pratiquement le plus facile est souvent d'estimer les faibles différences angulaires qui peuvent apparaître pour les défauts externes et d'ajuster la zone angulaire de non-fonctionnement en conséquence pour qu'elle couvre ces différences. On préfère définir des zones de non-fonctionnement ne dépassant pas $\pm 50^\circ$ pour tenir compte de la large plage des différences angulaires qui peuvent apparaître pour les défauts internes et qui sont souvent difficiles à estimer. La zone de non-fonctionnement doit également tenir compte du temps de transmission de l'information d'une extrémité à l'autre. Elle dépend donc du type et de la longueur de la liaison de téléinformation.

En pratique, l'amplitude des courants primaires est importante pour le bon fonctionnement d'un système à comparaison de phase. Par exemple, la présence du courant capacitif de ligne peut entraîner une différence de phase entre les courants primaires aux deux extrémités pour les défauts externes. Ce courant capacitif est sensiblement constant et produit un déphasage relatif qui est fonction de l'amplitude du courant de défaut externe. Pour les faibles valeurs de ce courant le déphasage peut alors empiéter sur la zone de fonctionnement comme

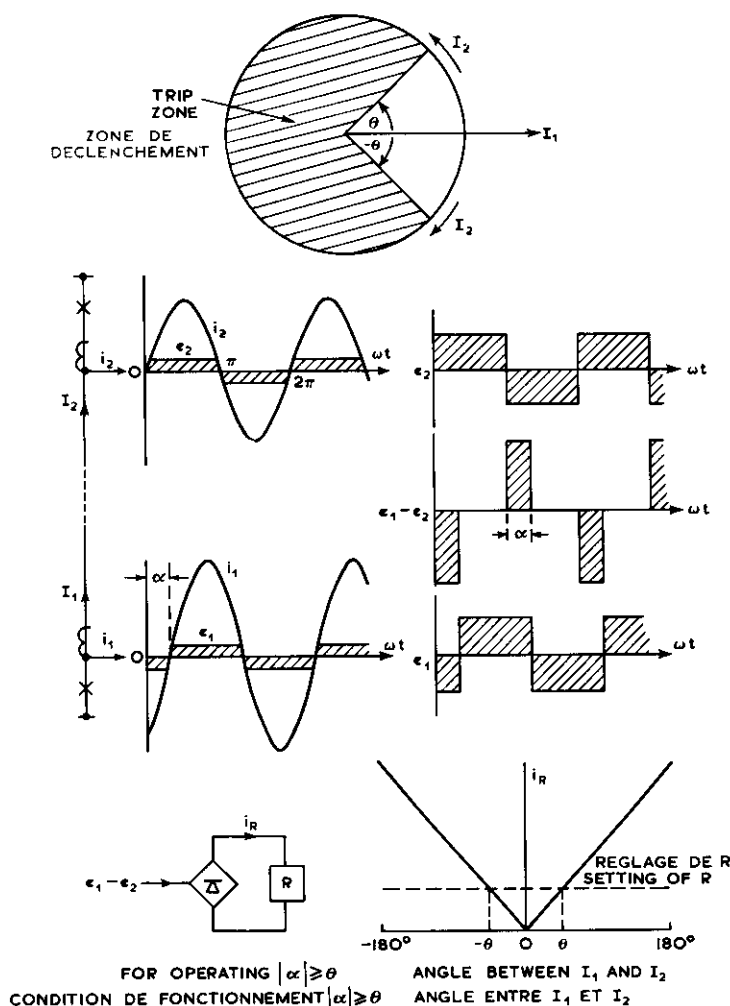


Figure 2.14 - Basic concept of phase comparison protection

The output of this comparing device will generally vary as shown and be independent of the relative magnitudes of the original signals. By feeding the output of the comparer to a critical level detector the protection will have a phase angle zone of operation and non-operation as shown in figure 2.14. This angular characteristic must be chosen such that the protection will trip on internal faults and remain inoperative on all external faults. Selectivity by this criterion of a relative phase angle is possible, because the phase difference between the primary currents on external fault will be relatively small whereas on internal faults it is considerable. In practice it is usually easier to define the small angular differences which may occur on external faults and so adjust the non-operative angular zone to cater for these differences. Non-operative zones up to $\pm 50^\circ$ are preferred in order to cater for the wide range of phase differences which may exist on internal faults and which may often be difficult to define. The non-operative zone has to take account of the delays in transmission of information from one end to the other and it is thus dependent upon the type and length of the information link.

In practice the magnitudes of the primary currents may be important to the correct functioning of a phase comparison system, for example, the presence of capacity current on a line may produce a phase difference between the primary currents at the two ends on external faults. This capacity current may be substantially constant and produce a relative phase angle difference which is a function of the value of external fault current. At low levels of external fault current the relative phase angle may thus encroach on the operating zone as

indiqué figure 2.15. On évite cet empiètement en prévoyant des relais de mise en route dont les valeurs de réglage soient suffisamment élevées. Ces relais sont généralement à deux seuils, haut et bas, la différence entre leurs valeurs de réglage étant fonction du courant capacitif et du courant de charge. Dans certains pays on emploie, pour compenser les effets du courant capacitif, le dispositif indiqué figure 2.16. Ce dispositif permet d'avoir une plus grande sensibilité.

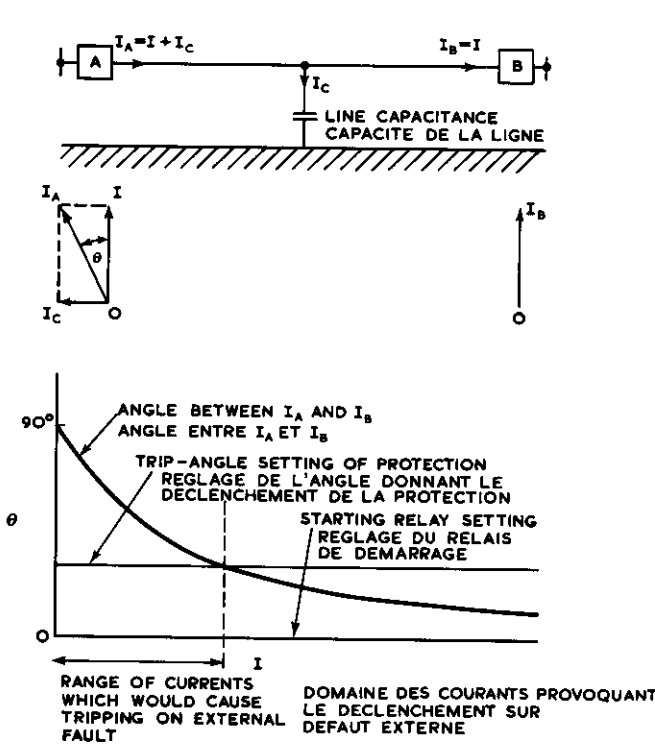


Figure 2.15 - Effet de la capacité de la ligne sur la comparaison de phase

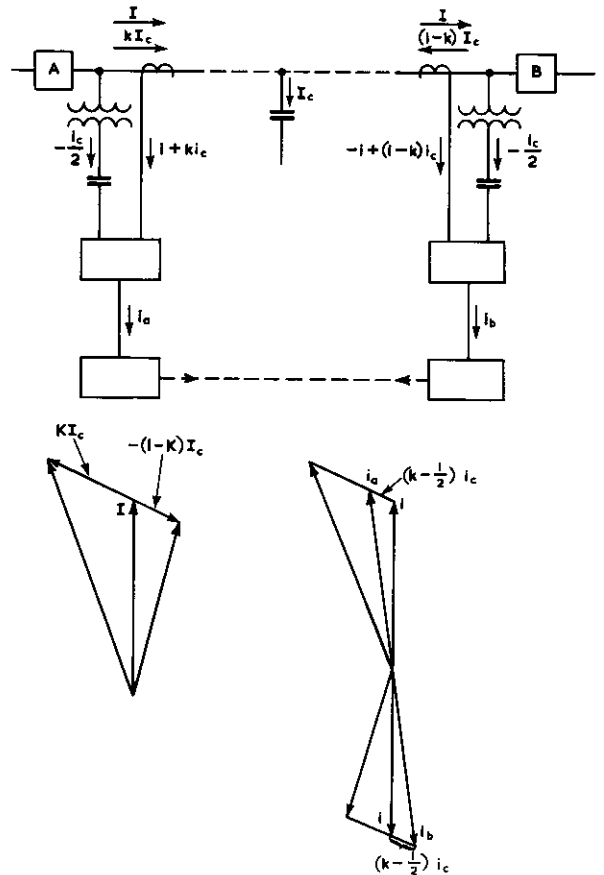


Figure 2.16 - Compensation du courant capacitif de la ligne - comparaison de phase

L'information contenue dans les courants polyphasés est habituellement convertie en une grandeur monophasée qui est échantillonnée et mise sous forme carrée. Elle est alors comparée au signal provenant de l'extrémité éloignée transmis par la liaison de téléinformation. Ce signal subit un retard de transmission qui apparaît comme un déphasage relatif par rapport au signal local. Les caractéristiques de transmission de la liaison de téléinformation et du matériel associé, tel que les filtres, sont importantes pour la définition de la zone angulaire de non-fonctionnement.

2.2.3.2 - Caractéristiques des liaisons de téléinformation

- (a) Fils pilotes. L'information concernant la phase des courants primaires peut être transmise sous forme de signaux à fréquence industrielle, de courant continu manipulé à fréquence industrielle, ou de signaux à fréquence musicale modulés à fréquence industrielle. Dans tous les cas, la précision du signal reçu dépend du retard de transmission, de l'affaiblissement et de la distorsion subis par les différentes fréquences composant le signal transmis. Ces quantités sont liées au type des fils pilotes et à leur longueur, ce dont il faut tenir compte pour la conception, le choix et l'estimation du fonctionnement de la protection.

Les signaux à fréquence industrielle sont couramment utilisés dans les protections différentielles longitudinales où l'amplitude des signaux est limitée, comme il a été dit à la section 2.2.2.1. Dans ce cas le circuit comparateur est constitué par la boucle des

shown in figure 2.15. This encroachment is often prevented by providing starting relays which have sufficiently high operating values. These relays will generally be of the two-stage type, i.e. with high set and low set features, the difference between their operating values being a function of capacity current and load current. In some countries a feature which compensates for the effects of capacity currents is used as shown in figure 2.16. Such a feature enables higher sensitivities to be achieved.

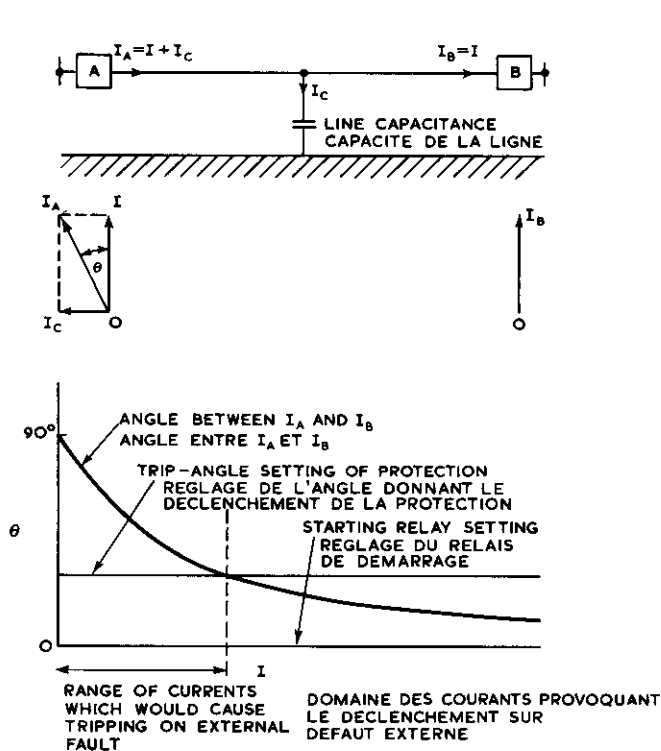


Figure 2.15 - The effect of line capacity current on comparison of phase

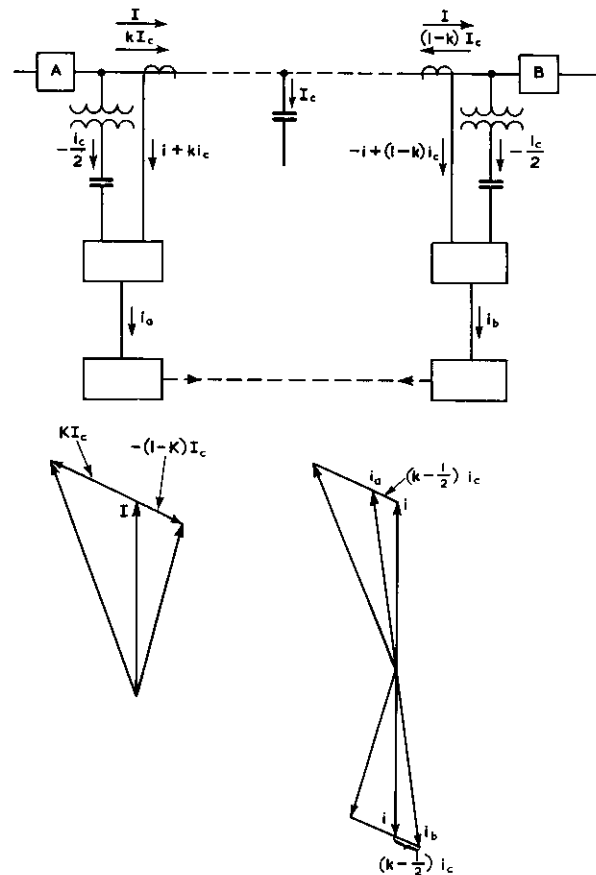


Figure 2.16 - Compensation for line capacity current - phase comparison

The information contained in the polyphase currents is usually converted to a single phase quantity which is then limited and squared, after which it is compared with the remote signal received over the information link. The remote signal will experience a transmission delay which will appear as a phase displacement relative to the local signal. The transmission characteristics of the information link and associated equipment such as filters, are important in defining the required angular zone of non-operation.

2.2.3.2 - Characteristics of Information Links

- (a) **Pilot Wires.** Information of the phase angle of primary currents may be transmitted in the form of power frequency signals, d.c. signals deved at power frequency, or audio signals modulated at power frequency. In all cases, the accuracy of the received signal depends upon the transmission delay, attenuation and distortion experienced by the various frequencies contained in the transmitted signal. These are related to the type of pilot wires and their length which are thus important considerations in the design, performance and application of the protection.

Power frequency signals are commonly used in the form of longitudinal differential protection in which the magnitude of the signals is limited, as discussed in Section 2.2.2.1. In such cases, the comparing circuit consists of the loop of the pilot wires and the ter-

files pilotes et les relais terminaux, comme indiqué dans le schéma simplifié à équilibre de tension de la figure 2.17a. On a déjà mentionné l'emploi d'impédances images pour compenser l'action des fils pilotes sur la transmission. Une autre méthode mettant en œuvre des signaux à fréquence industrielle consiste à employer des diodes interruptrices comme indiqué figure 2.17b.

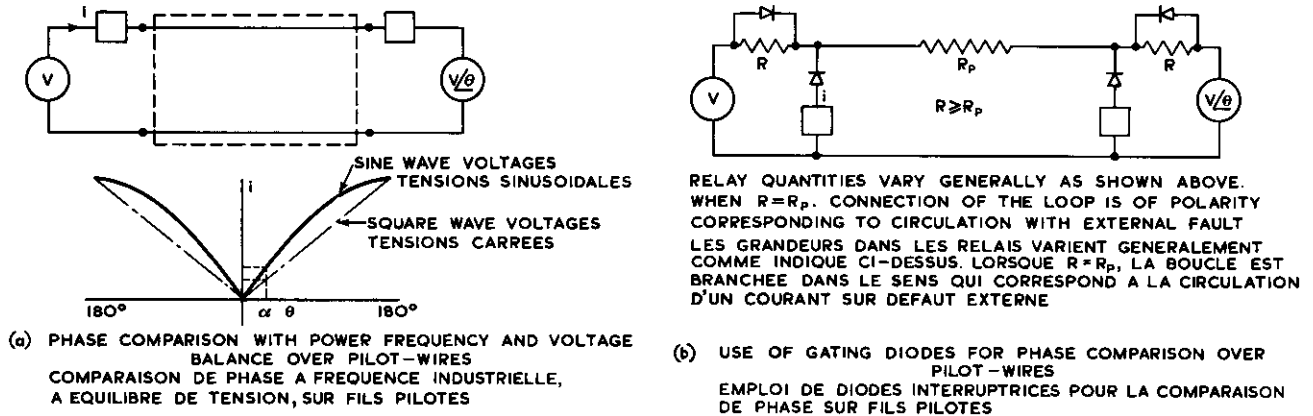


Figure 2.17 - Comparaison de phase sur fils pilotes avec signaux à fréquence industrielle

Une méthode utilisant la comparaison de signaux à courant continu manipulé est indiquée figure 2.18. La manipulation est effectuée par des relais polarisés rapides commandés par les signaux à fréquence industrielle locaux ou provenant de l'autre extrémité par les fils pilotes. Un avantage de cette méthode est qu'elle fonctionne quel que soit le sens de branchement des fils pilotes.

Ce système est d'un emploi limité, en raison de difficultés avec les relais rapides. Ces difficultés pourraient être moindres avec des relais plus modernes, relais à anche ou montages équivalents à semi-conducteurs.

Une porteuse à fréquence musicale peut être modulée par une alternance de la fréquence industrielle et employée pour la comparaison de phase, de la même façon qui est décrite pour les courants porteurs sur ligne en (b) ci-dessous. Pour les fréquences en cause (1 à 2 kHz), l'affaiblissement, la distorsion et le retard militeraient en faveur d'une fréquence distincte pour chaque sens de transmission, de façon à pouvoir les compenser avant comparaison avec le signal local. Les problèmes de largeur de bande sont particulièrement importants dans ce type de protection.

- (b) Courants porteurs sur ligne. Les dispositions de base d'une protection à comparaison de phase par courants porteurs sur ligne sont indiquées figure 2.19. Les caractéristiques à haute fréquence des lignes d'énergie sont passées en revue à la section 3.3. et l'annexe A4 décrit les dispositifs de couplage classiques.

L'information concernant la phase des courants primaires est généralement appliquée à la porteuse en engendrant des impulsions de porteuse qui correspondent aux alternances du courant primaire d'une polarité donnée, comme indiqué figure 2.19. Ceci peut être fait de deux manières (voir Fig. 2.20), qui donnent toutes les deux le même signal pour les valeurs élevées de la grandeur modulante. Pour les valeurs faibles, elles se comportent différemment, l'une tendant vers l'émission continue de la porteuse, l'autre vers la suppression totale de celle-ci. La méthode correspondant à l'émission continue est préférable, car elle évite les déclenchements intempestifs, pour les faibles valeurs du courant de charge, pendant la durée de retour des relais de mise en route après l'élimination d'un défaut externe. Une modulation conçue pour donner à peu près 180° d'impulsion pour la valeur de réglage des relais de mise en route peut éventuellement conduire à des fonctionnements intempestifs dans ces conditions car le relais de mise en route peut être encore au travail et le courant de charge peut être suffisamment faible par rapport au courant capacitif pour entraîner un déclenchement intempestif. Dans certaines réalisations, la modulation est conçue de telle sorte que les caractéristiques angulaires de la protection varient avec le courant primaire (voir Fig. 2.21) ce qui évite le déclenchement intempestif.

minal relay equipment as shown by the simple voltage balance arrangement in figure 2.17a. The use of mimic impedance to compensate for the effects of transmitting over the pilot wires has already been discussed. Another method of using power-frequency signals uses an arrangement of gating diodes as shown in figure 2.17b.

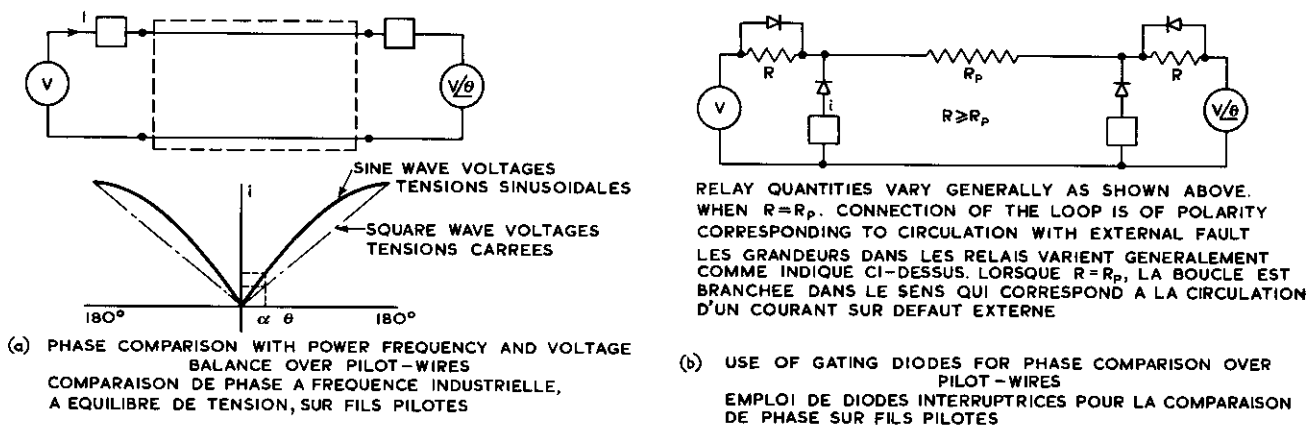


Figure 2.17 - Phase comparison over pilot-wires with power frequency signals

A method using comparison of keyed d.c. signals is shown in figure 2.18. This keying is done by polarised high speed relays driven by power frequency signals from the local end and from the remote end, over the pilot wires. One advantage of this method is that it functions correctly for either polarity of pilot wire interconnection.

This system has had only limited use because of problems with high speed relays. These problems may be less significant with more modern relays, e.g. reed relays or semiconductor equivalents.

Audio-frequency carrier may be modulated by half cycles of power frequency and used for phase comparison as described for power line carrier in (b) below. With the frequencies involved, e.g. 1 - 2 kHz, the attenuation, distortion and delay would generally favour a separate frequency for each direction of transmission, so that these could be compensated before comparison with a local signal. Considerations of bandwidth would be particularly important in this type of protection.

- (b) Power Line Carrier. The basic arrangement of typical power line carrier phase comparison protection is shown in figure 2.19. The high frequency characteristics of power lines are referred to in Section 3.3 and Appendix A4 describes typical coupling equipment.

Information of the phase angle of the primary current is impressed on the carrier signal generally by creating blocks of carrier corresponding to those half cycles of primary current having a given polarity as shown in figure 2.19. There are two possible ways of doing this, as shown in figure 2.20, and both produce the same signal at high levels of the modulating quantity. At low values they behave differently, one method tending to transmit continuous carrier and the other to the transmission of no carrier. The method giving continuous carrier is preferred as this avoids unwanted tripping at low values of load current during the resetting of starting relays, following the clearance of an external fault. Modulation which is designed to give substantially complete 180° block modulation at the operating values of the starting relays can also give possible unwanted operation under these conditions, because the starting relays may still be in an operated state and the load current low enough in relation to the capacity current to give unwanted tripping. In some designs the modulation is arranged so that the angular characteristics of the protection vary with the primary current, as shown in figure 2.21, and this prevents such unwanted tripping.

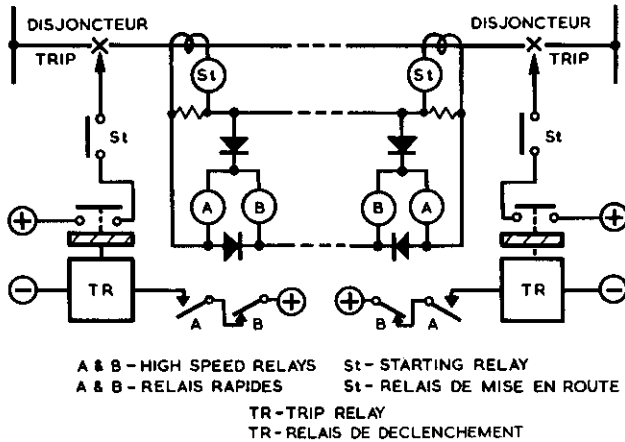


Figure 2.18 - Schéma de principe d'un système de protection à fils pilotes utilisant la méthode "Casson-Last" de comparaison de phase.

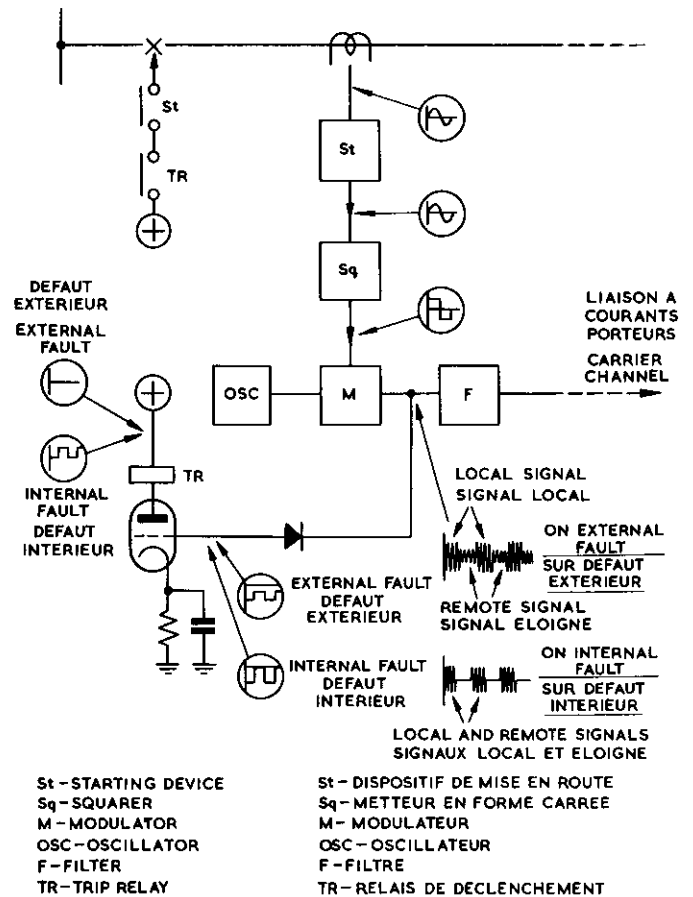


Figure 2.19 - Système de comparaison de phase par courants porteurs sur ligne H. T.

D'autres méthodes de comparaison de phase utilisent des impulsions étroites, comme dans l'exemple ci-dessous : des impulsions de porteuse sont engendrées qui correspondent à la zone angulaire de non-fonctionnement requise, le centre de l'impulsion étant lié au passage à zéro du courant à l'extrémité émettrice, comme indiqué figure 2.22. A la réception, cette impulsion est comparée à une fine impulsion repère engendrée au passage à zéro du courant à l'extrémité réceptrice. On vérifie la coïncidence qui, si elle se produit, indique un défaut externe, comme le montre la figure 2.22. La relation de phase n'est pas utilisée linéairement et l'on considère que cela est particulièrement valable en présence de perturbations car celles-ci ne peuvent avoir d'effet qu'au moment où la courte impulsion repère (10 μ s) se produit et seulement si l'amplitude du bruit dépasse la moitié de celle du signal. La zone angulaire de fonctionnement peut être aisément réglée et, pour tous les angles, le temps nécessaire à la décision est inférieur à une période. Il peut être nécessaire d'utiliser un canal distinct pour chaque sens de transmission mais il est possible de se servir d'un canal commun, pourvu que le temps de transmission n'excède pas 7 ms ($\pm 63^\circ$ de zone de non-fonctionnement pour les réseaux à 50 Hz). Comme dans tous les systèmes à comparaison de phase, la largeur de bande requise dépend de la précision demandée pour la comparaison. Par exemple si l'on peut tolérer une incertitude de $\pm 10^\circ$, la largeur de bande nécessaire peut être inférieure à 1 kHz.

- (c) Liaisons radio. Pourvu que l'on dispose de moyens de modulation, on peut utiliser une liaison radio pour constituer une protection à comparaison de phase, d'une façon semblable à celle employée avec les courants porteurs sur ligne d'énergie. Avec la possibilité d'une transmission continue et les largeurs de bande disponibles, il est possible d'utiliser d'autres procédés de modulation que ceux employés dans les courants porteurs. La Section 3.4. donne tous les détails nécessaires sur les liaisons radio.

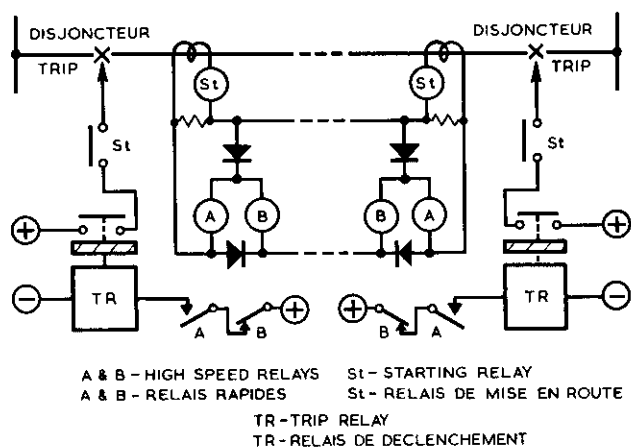


Figure 2.18 - Basic arrangement of pilot-wire system of protection using the 'Casson-Last' phase-comparison method

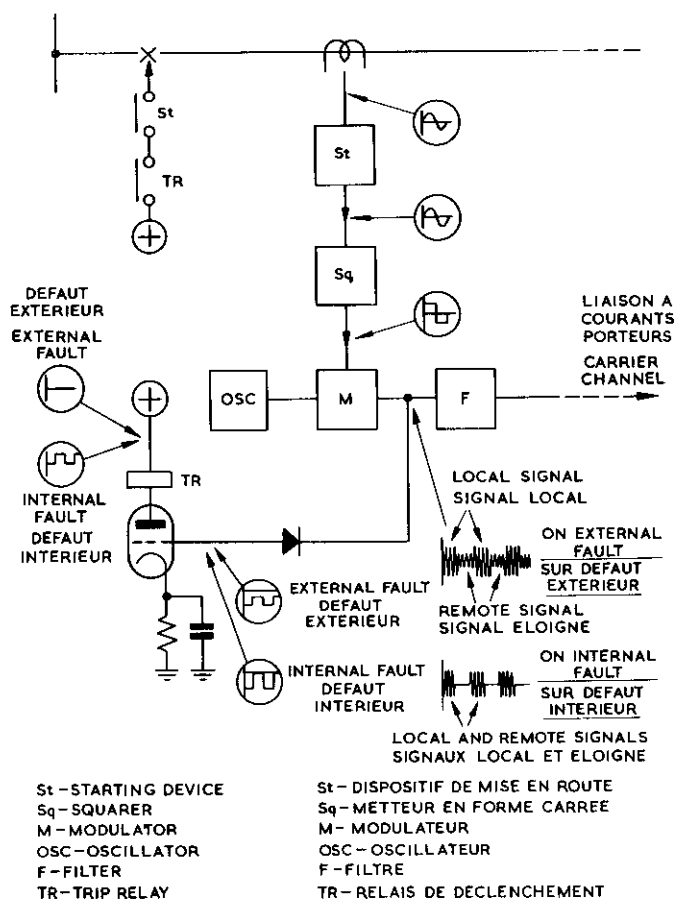


Figure 2.19 - Power line carrier phase comparison scheme

Other methods of phase comparison may use narrow pulses and one example is as follows. A carrier block is generated which corresponds to the required angular zone of non-operation, the centre of the pulse being related to the zero of the current at the sending end as shown in figure 2.22. At the receiving end this pulse is compared with a narrow sampling pulse which is generated by the corresponding zeros of the current at the receiving end. Coincidence is thus checked and if it occurs, this indicates an external fault, as shown in figure 2.22. The assessment of phase relationship is non-linear and is considered to be particularly reliable in the presence of interference as this can only be effective at the time when the short sampling occurs ($10 \mu\text{s}$) and then only when the noise amplitude exceeds half that of the signal. The angular zone of operation may be easily adjusted and the assessing time for all angles lies within one cycle. A separate channel may be required for each direction of transmission, although a common channel is possible provided the pulse transmission time does not exceed 7 ms ($\pm 63^\circ$ for non-operation zone on a 50 Hz system). As with all systems of phase comparison the bandwidth requirements depend on the required accuracy of phase assessment. For example, if an uncertainty of $\pm 10^\circ$ is accepted the bandwidth for this system may be as low as 1 kHz .

- (c) **Radio Links.** Provided facilities exist for applying modulating signals, a radio link can be used to form a phase comparison protection in a similar manner to power line carrier. With the capability of continuous transmission and the frequency ranges available, methods of modulation other than those used for power line carrier are possible. Section 3.4. covers details of radio links.

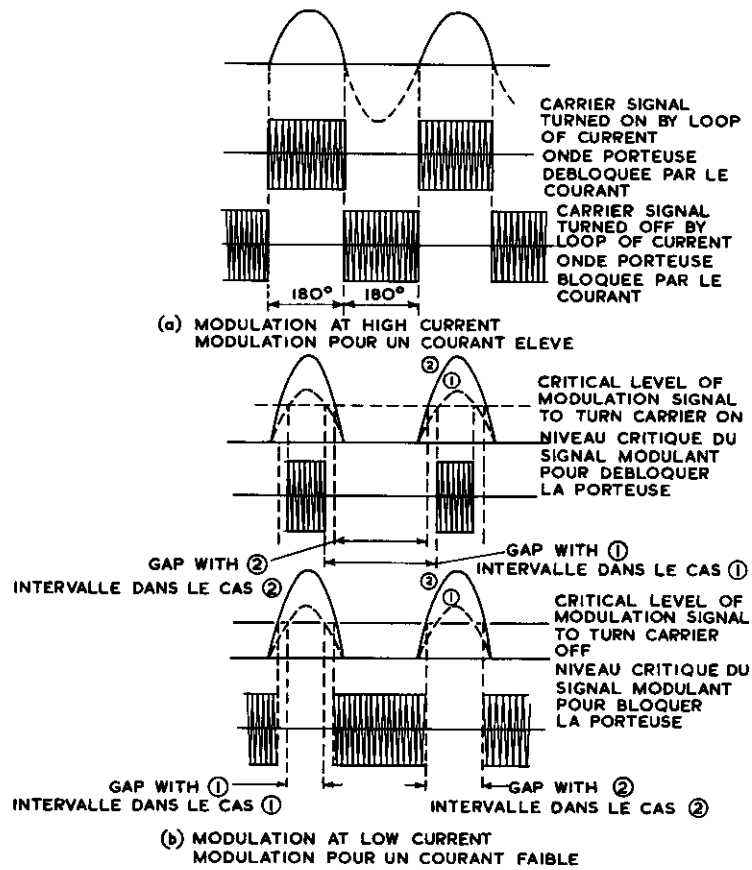


Figure 2.20 - Influence de l'amplitude du courant sur la modulation

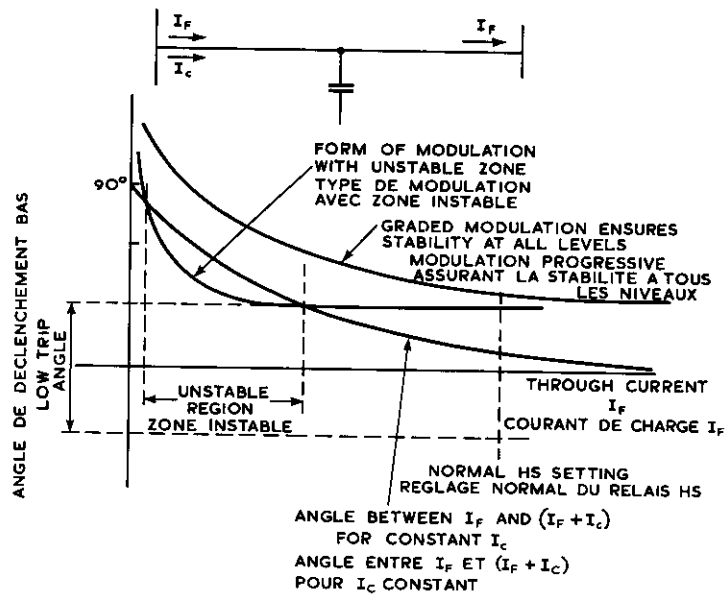


Figure 2.21 - Caractéristiques de modulation et déphasages dus au courant capacitif

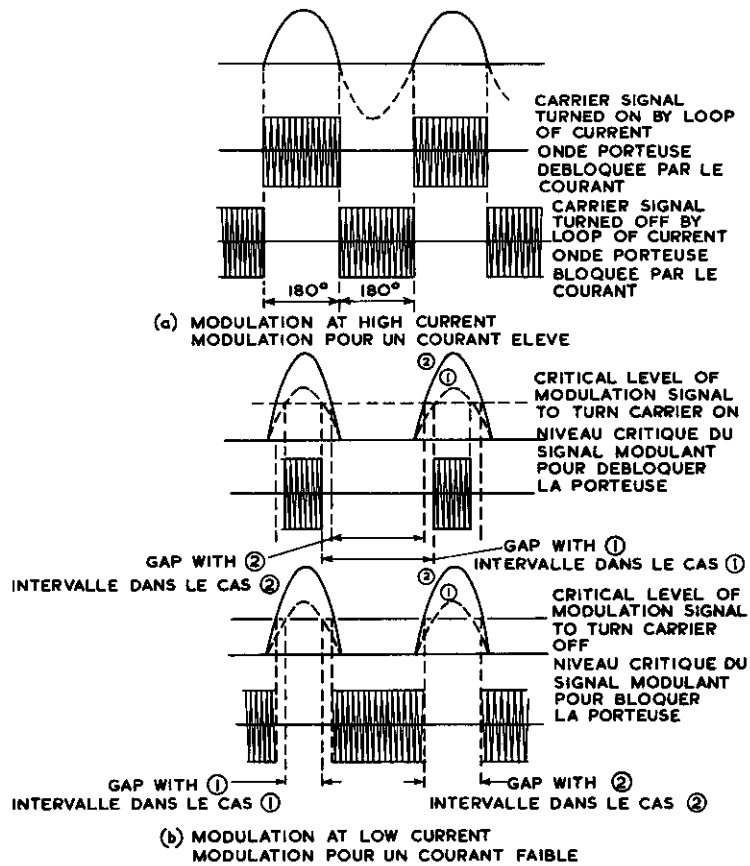


Figure 2.20 - Effect of current magnitude on modulation

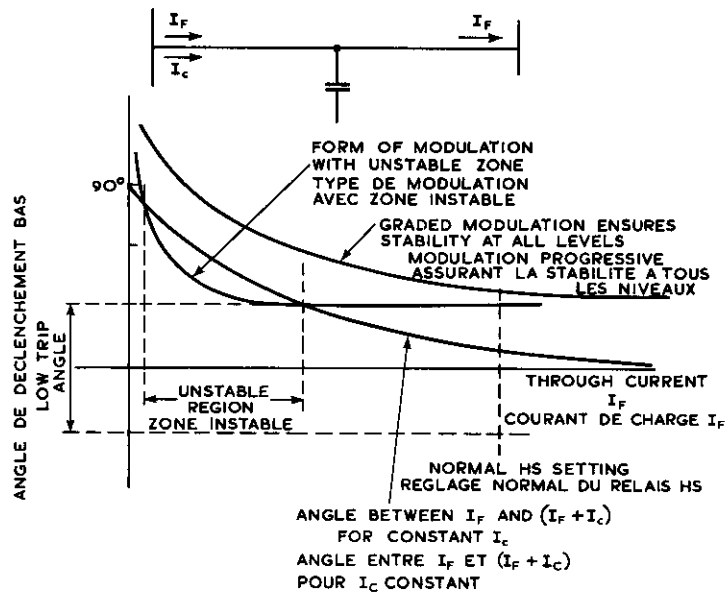


Figure 2.21 - Modulation characteristic and capacity current phase shifts

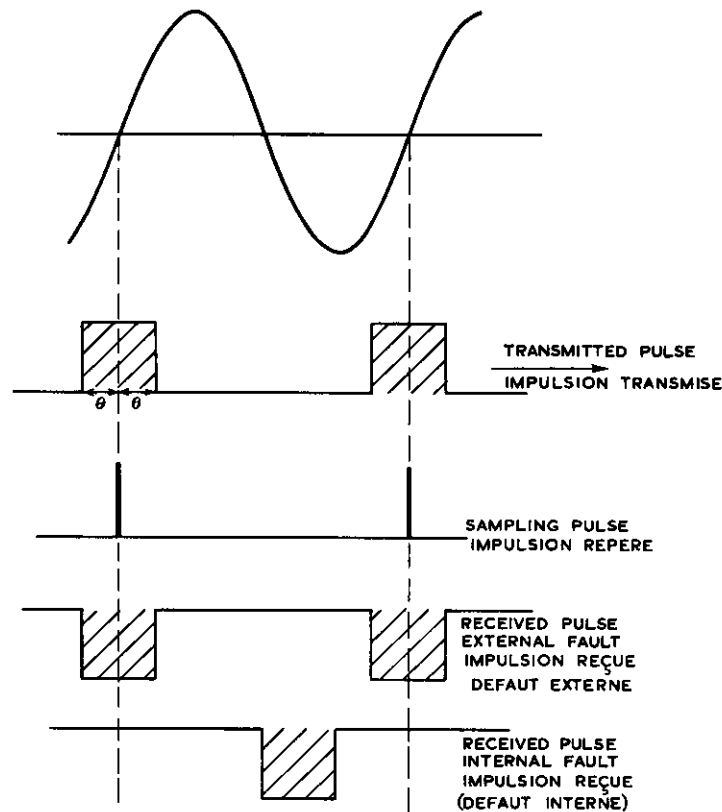


Figure 2.22 - Comparaison de phase avec impulsion repère

2.2.3.3 - Perturbations et bruit

- (a) Fils pilotes. Les remarques de la section 2.2.2.3 sont applicables de façon générale. De plus, pour les systèmes à fréquences musicales, les perturbations impulsives peuvent avoir plus d'importance si elles entraînent la résonance par choc de circuits tels que les filtres, ou si elles provoquent la suppression à la réception d'un signal réellement émis pendant un défaut externe. Dans ce dernier cas, l'absence de porteuse qui en résulte peut entraîner un déclenchement intempestif.
- (b) Courants porteurs sur ligne d'énergie. Les problèmes de bruit et de perturbations, particuliers aux lignes d'énergie, sont traités dans les Sections 3.1 et 3.3. Pour la protection à comparaison de phase, des puissances émises de 10 à 20 watts sont souhaitables si l'on désire avoir un rapport signal/bruit convenable dans toutes les conditions possibles et pour des longueurs de ligne jusqu'à 200 km. Il faut tenir compte, au sujet des perturbations et du bruit, du fait que l'émission et la réception du signal sont indispensables pour éviter le déclenchement intempestif sur défauts externes. Dans ce domaine, il est nécessaire que des bruits de caractère impulsif et de niveau élevé pendant un défaut externe ne puissent supprimer la réception du signal utile, sinon un déclenchement intempestif peut se produire. La réception de perturbations de niveau élevé en cas de défaut interne ne peut agir que dans le sens d'un retard possible du déclenchement pendant la durée de la perturbation.
- (c) Liaisons radio. Comme indiqué à la section 3.4., les perturbations, surtout en UHF et en SHF, ne posent pas de problèmes sérieux.

2.2.3.4 - Sécurité de fonctionnement

- (a) Fils pilotes. Les remarques de 2.2.2.4 s'appliquent de façon générale. Dans un système à comparaison de phase, la perte du pilote n'empêche pas en général le déclenchement à une extrémité où circule un courant de défaut. Par contre la réception d'une

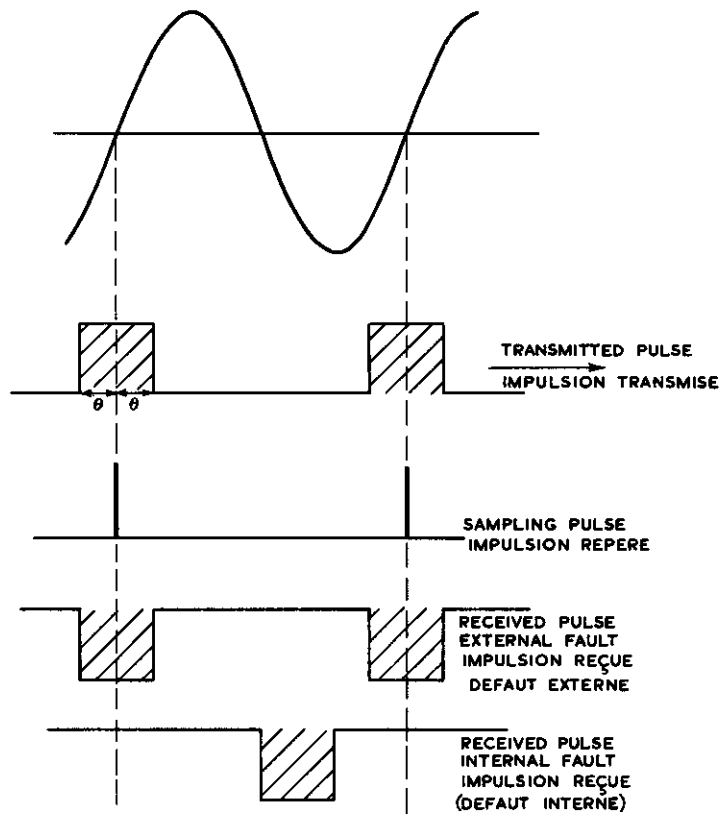


Figure 2.22 - Phase comparison by pulse sampling

2.2.3.3 - Interference and Noise

- (a) Pilot Wires. The remarks in Section 2.2.2.3. are generally applicable. In addition, with audio frequency systems, impulsive interference may be of further importance if it can cause shock "ringing" of circuits, such as filters, or if it can suppress the reception of a true signal during an external fault. The latter condition may cause a gap in the carrier resulting in unwanted tripping.
- (b) Power Line Carrier. The special problems of noise and interference on power lines are referred to in Sections 3.1 and 3.3. For phase comparison protection, transmitted powers of the order of 10 - 20 watts are desirable for adequate signal/noise ratios for all possible conditions and for lengths of line up to about 200 km. Considerations of noise and interference should take account of the fact that the transmission and reception of the signal are essential to the prevention of unwanted tripping on an external fault. In this respect it is essential that high level bursts of noise during an external fault should not be capable of suppressing the reception of the true signal otherwise unwanted tripping may take place. The reception of high level bursts of interference during an internal fault will be significant only in relation to the possibility of delaying tripping for the duration of the interference.
- (c) Radio Links. As noted in Section 3.4 interference particularly with U.H.F. and S.H.F. is not a serious problem.

2.2.3.4 - Reliability

- (a) Pilot Wires. The remarks under 2.2.2.4 are generally applicable. With a phase comparison system the loss of the pilot link will not generally prevent tripping at a terminal at which fault current is flowing. The reception of information from the remote end is

information provenant de l'autre extrémité est indispensable pour éviter le déclenchement intempestif sur défauts externes. Certains systèmes de protection utilisant des signaux à fréquence industrielle sont influencés par la défaillance du pilote comme il en a été discuté à la section 2.2.2.4. D'autres ne sont pas sensibles à la polarité des signaux transmis (par exemple les systèmes à fréquences musicales) et ne sont pas influencés par des défaillances impliquant l'inversion des fils pilotes. Des systèmes de surveillance du pilote, analogues à ceux cités plus haut, peuvent être employés pour accroître la sécurité. Dans un système à fréquences musicales, la surveillance peut être basée sur l'émission continue de signaux à fréquence musicale.

- (b) Courants porteurs sur lignes. La sécurité d'emploi des conducteurs d'une ligne d'énergie pour la transmission de l'information est très grande, tout particulièrement dans le cas des protections à comparaison de phase où la transmission essentielle d'information a lieu en cas de défaut externe, donc sur une ligne saine. La sécurité globale dépend donc surtout de celle des équipements terminaux et du rapport signal/bruit dans les conditions de perturbations les plus mauvaises, comme on l'a déjà vu section 3.1.1.1.

La sécurité de fonctionnement de l'équipement terminal inclut celle de l'alimentation qui, dans le cas de la comparaison de phase, peut être complexe et doit être conçue pour être sûre même en cas de défaut externe prolongé. Il en existe de nombreuses variantes, dont les batteries de poste et les machines tournantes. Lorsqu'on utilise la batterie du poste il peut être nécessaire d'isoler spécialement l'équipement à courants porteurs qui doit en outre être capable de fonctionner dans la plage des variations de la tension de la batterie. On considère en général que les batteries de postes sont en elles-mêmes assez sûres pour se passer de secours. Dans d'autres cas, comme celui de groupes tournants, un dispositif de secours avec commutation automatique est souvent nécessaire. S'il y a dans un poste plusieurs équipements à courants porteurs, on peut employer une alimentation commune pourvu que les exigences de sécurité de la protection soient respectées.

La sécurité est souvent accrue par l'emploi de systèmes de surveillance et d'alarme. Ces systèmes vont de l'alarme simple sur l'alimentation aux alarmes signalant la défaillance des tubes électroniques et aux systèmes d'essais séquentiels complexes. Ces derniers sont souvent conçus pour vérifier le fonctionnement global de l'équipement, y compris l'émission et la réception correctes de la porteuse et même dans certains cas la marge de sécurité sur l'affaiblissement de la ligne.

Les exigences de sécurité sur les alimentations et sur le matériel de surveillance et d'alarme ont été réduites par l'introduction des matériels transistorisés.

- (c) Liaisons radio. On rencontre pour les liaisons radio les mêmes exigences que pour les courants porteurs. Pour accroître la sécurité aussi bien en ce qui concerne le milieu de transmission que les équipements terminaux, on prévoit souvent le doublement des installations.

2.2.3.5 - Règlements limitatifs

- (a) Fils pilotes. Les restrictions signalées à la section 2.2.2.5 s'appliquent de façon générale. La possibilité d'utiliser des signaux d'un niveau plus faible en fréquence musicale fait que les restrictions concernant la tension et le courant posent un problème moins aigu que pour les systèmes à fréquence industrielle.
- (b) Courants porteurs sur ligne. Les restrictions concernant les courants porteurs sur ligne sont discutées à la section 3.5. Les règlements des P.T.T. interdisent en général l'émission continue aux puissances de 10 ou 20 watts que l'on estime nécessaires pour la protection à comparaison de phase. Les autres restrictions, concernant par exemple les dérives de fréquence et la distorsion ne soulèvent pas, en général, de difficultés.
- (c) Liaisons radio. Les règlements limitatifs sont abordés à la section 3.4.7. Ils ne soulèvent pas, habituellement, de problèmes pour la conception de la protection.

2.2.3.6 - Indications d'emploi

- (a) Fils pilotes. Les commentaires de la section 2.2.2.6 restent valables. Les caractéristiques des fils pilotes ont une incidence sur la définition de la zone angulaire de non-fonctionnement qui, à la mise en œuvre du système, doit en outre être adaptée au courant nominal de la ligne, au courant capacitif et aux valeurs de réglage requises.

an essential requirement for preventing unwanted tripping on external faults. Some systems of protection using power frequency signals will be influenced by failures of the pilot wires in the same manner as discussed in Section 2.2.2.4. Others are not sensitive to the polarity of the signals being sent, e.g. audio-frequency systems, and will thus not be susceptible to failures involving reversal of the pilot wire connections. Pilot wire supervision schemes similar to those previously discussed, may be used to improve reliability. In a system based on audio-frequency the supervision system may be based on the continuous transmission of audio-frequency signals.

- (b) Power Line Carrier. The reliability of the conductors of a power line for the transmission of information is very high and this is especially so in the case of phase comparison protection when the essential transmission of information takes place on an external fault, i.e. over an unfaulted line. The overall reliability is therefore governed mainly by that of the terminal equipment and the signal to noise ratios under the worst conditions of interference as discussed above and in Section 3.1.1.1.

The reliability of the terminal equipment includes that of the power supplies which, in the case of phase comparison, may be complex and be so arranged as to be reliable under prolonged conditions of external fault. A number of power supply arrangements have been used including either station batteries or rotating machines. When station batteries are used there may be a need for special insulation on the carrier equipment, which must also be capable of functioning correctly over the variations of battery voltage which may occur in practice. Station batteries are generally considered to be sufficiently reliable in themselves without additional standby provisions. In other arrangements, e.g. multimachines, standby arrangements with automatic changeover are often required. Where a station contains a number of carrier equipments a common power supply may be used, provided the reliability requirements of the protection are observed.

Supervisory and monitoring equipment are often provided to increase reliability. Schemes range from simple alarms for power supplies, failure alarms on thermionic valves, to complex sequential testing schemes. These latter are often arranged to check the overall functioning of the equipment, including the correct transmission and reception of carrier and, in some cases, the attenuation safety margins on the line.

The requirements for reliable power supplies and supervisory and monitoring equipment have been simplified with the introduction of transistorised equipment.

- (c) Radio Links. Similar requirements exist for radio link equipment as for power line carrier. To increase the reliability of the transmission path as well as terminal equipment, duplicate installations are often provided.

2.2.3.5 - Restricting Regulations

- (a) Pilot Wires. The restrictions in Section 2.2.2.5 are generally applicable. The lower signal levels possible with audio-frequency systems make restrictions of voltage and current less of a problem than in the case of power frequency systems.
- (b) Power Line Carrier. Restrictions relating to power line carrier are discussed in Section 3.3.5. P.T.T. regulations generally prohibit the use of continuous transmission at the power levels (10 - 20 watts) considered necessary for phase comparison protection. Other restrictions, e.g. frequency drift and distortion, do not generally cause any difficulties.
- (c) Radio Links. The restricting regulations are referred to in Section 3.4.7. These do not usually constitute any problem in the design of protection.

2.2.3.6 - Notes on Application

- (a) Pilot Wires. The comments made in Section 2.2.2.6. are relevant. The characteristics of the pilot wires are important in defining the angular zone of non-operation and when applying the system, this should be related to the rated current and capacity current of the line and the required operating values.

- (b) Courants porteurs sur ligne. Avec les niveaux d'émission indiqués ci-dessus et dans la gamme de fréquences autorisée, la longueur limite d'utilisation est d'environ 200 km bien que par le choix de fréquences en bas de la gamme, c'est-à-dire avec des valeurs d'affaiblissement plus basses, on puisse réaliser des liaisons plus longues, surtout si l'on a recours à des puissances d'émission plus élevées, par exemple jusqu'à 100 watts.

Comme on l'a dit plus haut, le courant capacitif de la ligne influe sur les valeurs de réglage et pour réaliser les valeurs voulues, il peut être nécessaire de recourir à des procédés spéciaux de compensation (voir section 2.2.3.1.).

Les réseaux de sommation, transformateurs ou réseaux à composantes symétriques, fournissent en général à la fois un signal pour le relais de mise en route et un signal unique à fréquence industrielle pour la modulation de la porteuse. Les valeurs de réglage de ces relais de mise en route dépendent d'un certain nombre de facteurs, dont la puissance nominale et le courant capacitif. Les réseaux à composantes symétriques répondent aux défauts déséquilibrés et équilibrés mais dans ce dernier cas les valeurs de réglage doivent être supérieures à la charge nominale. Si l'on ne peut pas accepter une telle limitation, il faut prévoir des dispositifs additionnels, par exemple un dispositif de mise en route à impulsion, commandé par la vitesse de variation du courant. Ce dispositif peut autoriser des valeurs de réglage inférieures à la charge nominale sans fonctionner en permanence à pleine charge. On évite ainsi l'émission permanente de la porteuse.

Le choix du dispositif de mise en route, le type du signal qu'il fournit et sa relation avec les conditions du réseau doivent être fixés en liaison avec le choix correspondant de la modulation et de son taux dans les différents cas. Il faut s'assurer que, pour toutes les conditions de réseau susceptibles de provoquer la mise en route de la protection, la modulation fournit un signal qui permet le fonctionnement correct de la protection. Il est indispensable d'avoir conscience qu'en pratique les dispositifs de mise en route et de modulation sont soumis à certains régimes qui ne sont pas à fréquence industrielle, comme les transitoires de manœuvre ou le courant d'enclenchement des transformateurs, et il faut faire en sorte que la protection fonctionne correctement dans ces circonstances.

Pour la transmission précise d'une information de déphasage, le dispositif de couplage et les filtres associés doivent présenter une bande passante d'environ 4 kHz. Si d'autres liaisons utilisent le même couplage, une séparation de 8 kHz entre fréquences centrales peut être nécessaire. La fixation de fréquences pour la protection sur des lignes adjacentes se fait en général sur la base d'une séparation supérieure à 8 kHz.

Il n'est généralement pas essentiel de séparer les informations transmises par les deux extrémités et l'on peut utiliser la même fréquence aux deux extrémités. Dans ce cas, le niveau du signal reçu ne doit pas être comparable à celui du signal local avec lequel il est mélangé, sinon de légères différences de fréquence produisent des battements qui peuvent entraîner un déclenchement intempestif sur défauts externes. L'emploi de la protection à courants porteurs est en général plus indiqué si d'autres canaux, de télémesure ou de télécommande, lui sont associés.

- (c) Liaisons radio. La décision d'emploi est influencée par l'utilisation éventuelle de la liaison pour d'autres usages (télémesure, télécommande, téléphonie) et par les limites imposées par la configuration du terrain, voir section 3.4.

2.3 - SYSTEMES DE PROTECTION UTILISANT LA LIAISON DE TELEINFORMATION POUR LA TRANSMISSION D'UN ORDRE SIMPLE

2.3.1 - Généralités

Les systèmes de protection de cette classe sont basés sur la transmission d'une information simple à deux états (ordre par "tout ou rien", voir section 3.1.2.) d'une extrémité du circuit protégé à l'autre. La transmission d'une telle information peut être unilatérale ou bilatérale. L'information à deux états est liée aux conditions primaires à l'extrémité émettrice et provient habituellement de contacts de relais dont le fonctionnement peut impliquer des processus complexes de mesure ou de comparaison. La forme simple de l'information peut être modifiée en vue de sa transmission s'il est nécessaire que le signal soit codé ou doté de caractéristiques permettant son identification. Ceci peut être indispensable pour obtenir le degré de sécurité voulu en présence de perturbations ou de bruit (voir section 3.1.1.4.).

- (b) Power Line Carrier. With the power levels given above and the permissible frequency range, application is normally limited to approximately 200 km although by choosing frequencies at the low end of the range, i.e. with lower attenuation figures, longer line lengths can sometimes be covered and, of course, this is facilitated if higher power levels, e.g. up to 100 watts, are used.

As previously mentioned the capacity current of the line may control the operating values and to achieve the required values it may be necessary to use special compensating techniques as discussed in Section 2.2.3.1.

Summation networks, either transformers or sequence networks, are generally used for providing both the starting relay signal and a single power frequency signal for modulating the carrier. The operating values of these starting relays are controlled by a number of factors, e.g. the load rating and the capacity current. Sequence networks may cater for both unbalanced and balanced faults but in the latter case the operating values would need to be in excess of the load rating. If such limitation is not acceptable additional features may be necessary, for example, an impulse starting feature operated by rate-of-change of current which could provide operating values below the full load rating and yet not remain continuously operated at full load. In this way, continuous transmission of the carrier signal would be avoided.

The choice of the starting network, its type of output and its relationship to system conditions must be considered in relation to the corresponding choices for the modulation and its various output levels. It is necessary to ensure that, for all conditions on the system which can start the protection, there will be a modulation output adequate for the correct functioning of the protection. It is important in practice to appreciate that starting and modulating networks will be subjected to a variety of non-power frequency conditions, e.g. switching transients or transformer inrush currents and care must be taken that the protection functions correctly in such circumstances.

For accurate transmission of information of phase angle, a bandwidth of approximately 4 kHz is required for the coupling equipment and its associated filters. For other channels using the same coupling equipment a separation of 8 kHz between centre frequencies may be required. The allocation of frequencies to protection equipment on adjacent lines is usually on the basis of separations greater than 8 kHz.

It is not generally essential to separate out the information sent from the two ends, the same frequency may be used at both ends. In such cases, the received signal level should not be comparable in magnitude to the local signal with which it is mixed, otherwise slight differences in frequency produce beat effects which may cause unwanted operation on external faults. The use of power line carrier protection is generally more favourable when other channels are superimposed, e.g. telemetering and control.

- (c) Radio Links. The application is influenced by the use of the radio link for other purposes, e.g. telemetering, control and communication, and by the range limitations imposed by the terrain, see Section 3.4.

2.3 - PROTECTION SYSTEMS USING THE INFORMATION LINK TO CONVEY A SIMPLE COMMAND

2.3.1 - General

Protection systems in this class are based on the transmission of simple two-state information ("Yes/No" command, see Section 3.1.2.) from one end of the protected circuit to the other. A system may use one-way or two-way transmission of such information. The two-state information is related to the primary conditions at the send end and is usually derived from relay contacts, which, in their operation, may involve complex processes, such as measurement and/or comparison. The simple form of the information may be modified for the purpose of transmission due to the possible need to impart coding or other identifying characteristics to the signal. This may be necessary to achieve the required degree of reliability in the presence of interference and noise, see Section 3.1.1.4.

Le passage d'un état à l'autre, c'est-à-dire la transmission de l'ordre, peut se faire de différentes façons, comme il est dit à la section 3.1.2. Il existe deux méthodes fondamentales d'emploi d'un ordre simple dans un système de protection, à savoir l'envoi d'un "ordre de déclenchement" ou l'envoi d'un "ordre de verrouillage". Le premier n'implique pas nécessairement que le déclenchement découle directement de la réception du signal car il peut être préférable de le faire dépendre également de l'état des relais à l'extrémité réceptrice. Dans le second cas, l'ordre de verrouillage est toujours en lui-même suffisant pour interdire le déclenchement à l'extrémité réceptrice.

Le choix de la méthode, déclenchement ou verrouillage, et les procédés employés pour la transmission dépendent de nombreux facteurs parmi lesquels figurent le type de la liaison de téléinformation et sa susceptibilité aux perturbations. Les sections suivantes donnent des exemples caractéristiques des protections de cette classe.

2.3.2 - Systèmes basés sur un ordre de déclenchement

Les trois formes principales de protection de ce type sont le déclenchement interdépendant direct, la protection de distance avec accélération et la protection de distance à dépassement.

Dans ces trois cas, la transmission de l'information d'une extrémité à l'autre indique qu'un défaut interne a été détecté à l'extrémité émettrice. La transmission de l'information s'effectue alors que le circuit protégé est affecté d'un défaut et ceci soulève de difficiles problèmes de perturbations. Les trois systèmes sont décrits plus en détail dans les sections suivantes.

2.3.2.1 - Déclenchement interdépendant direct

La section 1.6 décrivait diverses conditions de réseau qui nécessitent le déclenchement d'un disjoncteur éloigné de l'emplacement du relayage. C'est un cas qui se rencontre fréquemment, en particulier quand des transformateurs sont raccordés directement au réseau sans disjoncteur interposé. On peut employer tous les types de liaisons de téléinformation, ceux à fils pilotes étant particulièrement répandus dans certains pays. Les courants porteurs sont fréquemment utilisés pour le déclenchement interdépendant sur les circuits d'assez grande longueur, surtout s'ils ont par ailleurs d'autres utilisations.

Le signal reçu a toute capacité de provoquer le déclenchement, sans autre vérification et la sécurité de fonctionnement de la transmission d'information est essentielle pour éviter les déclenchements intempestifs. Les moyens pour améliorer cette sécurité en présence de bruit (voir section 3.1.1.4.) ont une importance particulière pour cette application. Le temps de réponse du récepteur est également important car il peut déterminer le degré de codage lorsque le temps de réponse descend en dessous de 10 ou 20 ms et il est nécessaire de fixer le temps de réponse du récepteur en harmonie avec le temps global de fonctionnement.

La sécurité du déclenchement en présence de perturbations présente une grande importance car l'ordre est transmis pendant les défauts internes, au moment où les perturbations sont sévères. Il faut prendre garde à ne pas aggraver le problème en ajoutant des dispositifs destinés à augmenter la sécurité vis-à-vis des déclenchements intempestifs.

Avec des fils pilotes les systèmes simples à relais à courant continu peuvent convenir pour de courtes distances, jusqu'à 2 km sans qu'un codage spécial soit nécessaire. Il faut éviter soigneusement toute sensibilité excessive des relais de réception, à cause de l'énergie emmagasinée dans la capacité des fils pilotes. Il est également nécessaire d'utiliser des contacts bi-polaires sur les fils pilotes comme indiqué figure 3.1. Pour de plus grandes longueurs de fils pilotes, le système à relais à courant continu peut encore être utilisé pourvu que toutes précautions soient prises pour éviter que l'induction ou la différence de potentiel de terre entre extrémités ne provoquent un fonctionnement intempestif. Des exemples de relais de ce type sont décrits avec plus de détails à la section 3.2. Ils sont un peu plus lents (par exemple 150 ou 200 ms au lieu de 10 ou 20 ms pour un relais simple) mais peuvent procurer une sécurité satisfaisante vis-à-vis des déclenchements voulus et des déclenchements intempestifs.

Les systèmes simples à courant continu, même avec les précautions supplémentaires mentionnées ci-dessus conviennent rarement aux fils téléphoniques, surtout s'ils sont en location, et il est en général nécessaire de recourir au codage. Celui-ci peut être réalisé par des trains d'impulsions d'identification ou par l'emploi de fréquences musicales. Des exemples

The change from one state to the other, i.e. the transmission of a command, may be effected in different ways as discussed in Section 3.1.2. There are two basic methods of using a simple command signal in a system of protection, namely to give a command "to trip" or to give a command "not to trip". The former does not necessarily imply direct tripping from the received signal, as it may be preferable to make tripping dependent on the conditions of relays at the receiving end as well as the reception of the command "to trip". In the second case a command "not to trip" is always in itself sufficient to block the tripping at the receiving end.

The choice of protection system, e.g. tripping or blocking, and the method by which the command is transmitted, depend upon a number of factors which include the type of information link and its susceptibility to interference. The following sections give typical examples of protection in this class.

2.3.2 - Systems based on a Command "To Trip"

The three main forms of protection of this type are direct intertripping (sometimes called transfer tripping), accelerated distance protection (often called permissive underreaching), and permissive overreaching distance protection.

In all cases the transmission of information from one end to another indicates that an internal fault has been detected at the sending end. The transmission of information takes place when there is a fault on the protected circuit and this is a condition which is associated with difficult interference problems. The three systems are described in more detail in the following sections.

2.3.2.1 - Direct Intertripping

Section 1.6 describes various conditions on the power system which lead to the need to trip a circuit-breaker remote from the relay position. This requirement is frequently met, particularly where transformers are connected to the system without circuit-breakers. All types of information links may be used, pilot wires being particularly common in some countries. Power line carrier is frequently applied to intertripping on longer circuits particularly when it is used for other purposes as well.

The received signal has complete ability to trip without any additional control and the reliability of the transmission of information is most important in order to avoid unwanted tripping. Means of improving this reliability in the presence of noise, see Section 3.1.1.5, have special significance in this type of application. The response time of the receiving device is important because this may influence the degree of coding required. The probability of unwanted operation increases considerably as the response time is reduced below 10 - 20 ms so there is a need to assess the response time of the receiving device in relation to the overall operating time.

Reliability of obtaining wanted tripping in the presence of interference is especially important, because the command is transmitted during internal faults, when interference may be severe. Care is necessary to avoid increasing this problem when providing features intended to improve reliability in respect of unwanted tripping.

Using pilot wires, simple systems of d.c. relays may be adequate for short lengths, e.g. up to 2 km., no special coding being necessary. Some care may be required to avoid undue sensitivity of the receive relays in relation to the energy stored in the capacity of the pilot wires. It is also generally necessary to adopt two-pole switching of the pilot wires as shown in figure 3.1. For longer lengths of pilot wire a d.c. relay system may still be used provided precautions are taken to avoid unwanted operation by induced voltages or by differences between ground potentials at the sending and receiving ends. Some examples of relays of this type are described in more detail in Section 3.2. They are somewhat slower in operation, e.g. 150 - 200 ms compared with 10 - 20 ms for a simple d.c. relay, but are capable of achieving adequate reliability in respect of both wanted and unwanted tripping.

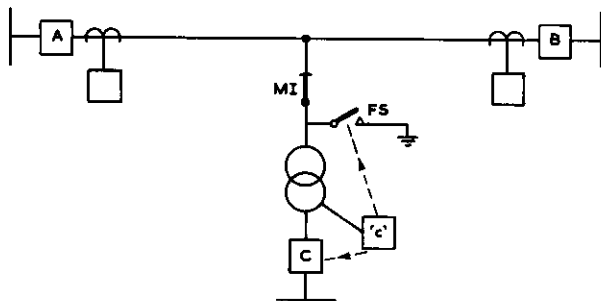
Simple d.c. systems even with the additional precautions mentioned above, are seldom adequate for telephone pilot wires, particularly when rented and it is generally necessary to provide coding. This may be by means of identifying trains of pulses or by the use of audio-frequencies and examples are given in Section 3.2.1.3. In these systems the operating time

en sont donnés à la section 3.2.1. Dans ces systèmes, le temps de fonctionnement dépend du codage utilisé. Il peut être long, jusqu'à une seconde ou plus, bien que l'emploi du déplacement de fréquence représente un bon compromis entre l'insensibilité aux perturbations et la rapidité de fonctionnement (par exemple 20 à 100 ms).

Dans les systèmes de déclenchement interdépendant utilisant les courants porteurs sur ligne, les effets violents des perturbations mentionnés à la section 3.1 ont une importance particulière et doivent être spécialement étudiés pour les applications de ce type. Des systèmes à déplacement de fréquence, décrits à la section 3.1.2.1, sont fréquemment utilisés car ils procurent un fonctionnement global rapide d'une durée d'environ 20 ms avec une sécurité convenable en ce qui concerne les déclenchements, aussi bien voulus qu'intempestifs.

Pour le déclenchement interdépendant par radio les perturbations ont moins d'importance et les déclenchements intempestifs ne posent pas en général de problèmes. Par contre la sécurité de fonctionnement de l'appareillage et la sécurité de la transmission pour les déclenchements voulus sont importantes pour ces applications.

Dans les cas où il est, soit impossible, soit peu économique de réaliser une liaison de téléinformation, le déclenchement interdépendant est parfois effectué directement sur les conducteurs primaires au moyen d'un "court-circuiteur". Cet interrupteur est placé près de l'emplacement des relais qui le commandent. Son fonctionnement crée un défaut, en général phase-terre, et les courants primaires qui en résultent provoquent le fonctionnement des relais à l'extrémité éloignée et entraînent le déclenchement. Ces court-circuiteurs sont en général ré-armés localement c'est-à-dire que le réenclenchement automatique exige l'emploi d'un sectionneur à moteur, comme indiqué figure 2.23.



MI - MOTORIZED ISOLATOR - SECTIONNEUR A MOTEUR
FS - FAULT THROWING SWITCH - COURT-CIRCUITEUR

RELAY 'c' OPERATES FS CAUSING TRIPPING AT A AND B. CIRCUIT BREAKER C IS TRIPPED DIRECTLY. WHEN SYSTEM IS ISOLATED, MI OPENS, AFTER WHICH A AND B RECLOSE
LE RELAIS 'c' ACTIONNE FS, ENTRAINANT LE DECLENCHEMENT EN A ET B. LE DISJONCTEUR C EST COMMANDE DIRECTEMENT, LORSQUE LE CIRCUIT N'EST PLUS ALIMENTE. MI S'OUVRE APRES QUOI A ET B REENCLENCHENT

Figure 2.23 - Déclenchement interdépendant par défaut provoqué

2.3.2.2 - Déclenchement interdépendant utilisant la protection principale

Les méthodes de déclenchement interdépendant décrites à la section 2.3.2.1 peuvent parfois faire usage de la même liaison de téléinformation que celle utilisée pour la protection sélective principale. Par exemple, un relais de déclenchement à courant continu peut être inséré dans les fils pilotes servant à la protection différentielle longitudinale, pourvu que les deux fonctions soient séparées par les filtres convenables.

La protection principale elle-même est quelquefois utilisée pour réaliser le déclenchement interdépendant. Un signal peut être injecté dans la protection, qui provoque son fonctionnement, ou bien l'équilibre sur défauts externes peut être détruit par la suppression du signal à une extrémité, comme indiqué figure 2.24.

2.3.2.3 - Protection de distance avec accélération

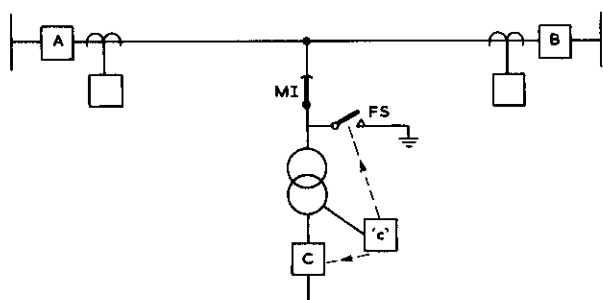
La protection de distance ne peut pas, par elle-même, procurer un déclenchement rapide et sélectif pour tous les emplacements de défauts sur un circuit (voir section 1). La forme la plus répandue de protection de distance est basée sur des caractéristiques de distance et de temps discontinues, comme indiqué figure 2.25. Le relais rapide de premier stade est directionnel et ne fonctionne pas pour des défauts situés derrière lui. Sa portée, sur le circuit protégé est limitée à une valeur qui est couramment de 70 à 85 % et qui tient compte des erreurs de mesure prévisibles sur un circuit polyphasé, pour ne pas provoquer de déclenchement intempestif (rapide) sur les défauts extérieurs au circuit protégé. La portée des deuxième et troisième stade s'étend au-delà du circuit, avec un fonctionnement convenablement retardé pour obtenir la sélectivité par l'échelonnement des temps. Le fonctionnement en deu-

depends on the coding used and may be long, e.g. up to 1 sec. or more although the use of frequency shift provides a good compromise between immunity from interference and speed of operation, e.g. 20 - 100 ms.

In power line carrier intertripping systems, the severe interference effects mentioned in Section 3.1 are especially important and merit consideration in applications of this type. Frequency shift systems as described in Section 3.1.2.1 are frequently used as they can provide fast overall operating times, e.g. about 20 ms, with adequate reliability in respect of both wanted and unwanted tripping.

With radio link intertripping, interference is less significant and unwanted tripping is not generally a problem. Reliability of the equipment and the transmission path in relation to wanted tripping becomes a more important feature of such applications.

In cases where the provision of an information link is either impracticable or uneconomic, intertripping is sometimes effected over the main primary conductors by means of a "fault throwing" switch. This switch is located near the position of the relays by which it is initiated. Operation of the switch creates a fault, usually single phase to ground, and the resulting primary currents cause relay operation at the remote point and effect intertripping. Fault throwing switches are generally recharged locally, so auto-reclosing usually requires the provision of an automatic isolator as shown in figure 2.23.



RELAY 'c' OPERATES FS CAUSING TRIPPING AT A AND B. CIRCUIT BREAKER C IS TRIPPED DIRECTLY. WHEN SYSTEM IS ISOLATED, MI OPENS, AFTER WHICH A AND B RECLOSE

LE RELAIS 'c' ACTIONNE FS, ENTRAINANT LE DECLENCHEMENT EN A ET B. LE DISJONCTEUR C EST COMMANDE DIRECTEMENT, LORSQUE LE CIRCUIT N'EST PLUS ALIMENTE. MI S'OUVRE APRES QUOI A ET B REENCLANCHENT

MI - MOTORISED ISOLATOR - SECTIONNEUR A MOTEUR
FS - FAULT THROWING SWITCH - COURT-CIRCUITEUR

Figure 2.23 - Intertripping by fault throwing

2.3.2.2 - Intertripping through main protection

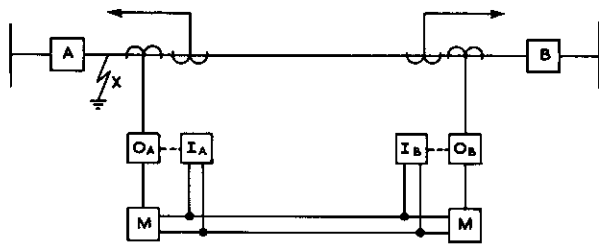
The methods of intertripping described in Section 2.3.2.1 may sometimes use the same information link as that used for main selective protection. For example, a d.c. intertripping relay may be included in the pilot wires used for longitudinal differential protection, provided the two functions are separated by the necessary filters.

The main protection itself may sometimes be used to give an intertripping feature. A signal may be injected into the protection, causing it to operate, or its balance on external fault conditions may be disturbed by suppression of the signal at one end, for example as shown in figure 2.24.

2.3.2.3 - Accelerated Distance Protection (Permissive Underreaching) (Permissive Intertripping)

Distance protection cannot, in itself, provide high speed selective tripping for all positions of faults on a circuit, see Section 1. The form of distance protection most commonly used is based on stepped distance-time characteristics, as shown in figure 2.25. The high speed relay, Zone 1, is directional and does not operate for faults behind the relay position. Its reach along the protected circuit is limited to some value, typically 70 - 85 %, which can accommodate the errors of practical measurement on a polyphase system without causing unwanted tripping (high speed) for faults external to the protected circuit. The Zone 2 and Zone 3 reaches extend beyond the circuit, with the necessary time lag operation to achieve selectivity through time grading. The operation of Zone 2 or Zone 3 for faults beyond the protected cir-

xième ou troisième stade pour des défauts situés au-delà du circuit protégé, se fait dans le cadre de la protection de réserve et le retard est en général acceptable (voir sections 1.5 et 1.6.11.).



FAULT AT 'X' CAUSES TRIPPING OF A. FAULT IS STILL FED FROM B, AS MAIN PROTECTION SEES AN EXTERNAL FAULT. CONTINUED ENERGISATION OF O_A WITH A OPEN CAUSES I_A TO SUPPRESS THE MAIN PROTECTION SIGNAL AT 'A' OR INJECTS AN UNBALANCING SIGNAL

UN DEFAUT EN 'X' PROVOQUE LE DECLENCHEMENT DE A. LE DEFAUT EST TOUJOURS ALIMENTE PAR B ET COMME LA PROTECTION PRINCIPALE VOIT UN DEFAUT EXTERNE. LE MAINTIEN DE L'EXCITATION DE O_A ALORS QUE A EST OUVERT FAIT QUE I_A SUPPRIME LE SIGNAL DE LA PROTECTION PRINCIPALE EN A OU INJECTE UN SIGNAL DE DESEQUILIBRE

- M - MAIN PROTECTION - PROTECTION PRINCIPALE
- O - FAULT DETECTING RELAYS - RELAIS DE DETECTION DES DEFAUTS
- I - INTERTRIPPING EQUIPMENT-EQUIPEMENT D'INTERDECLENCHEMENT

Figure 2.24 - Déclenchement interdépendant utilisant la protection principale

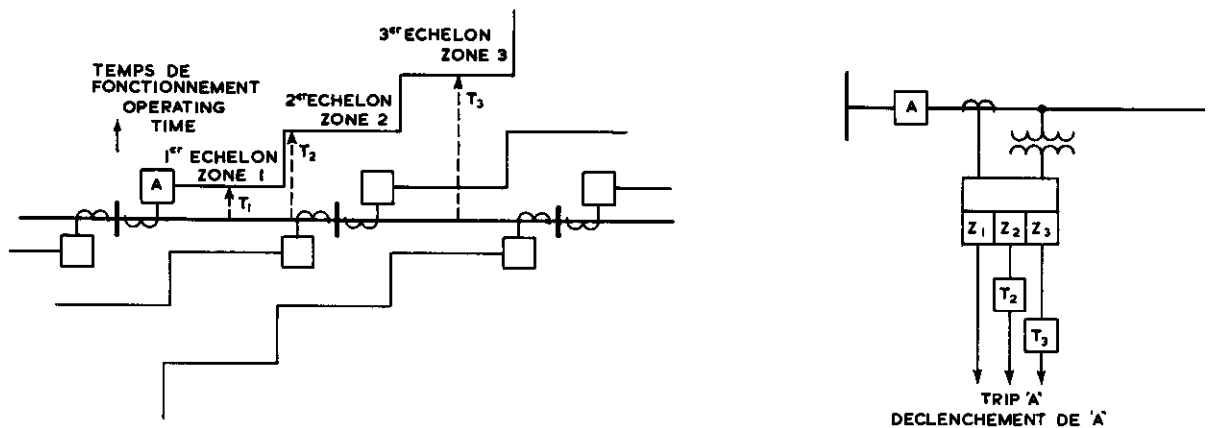
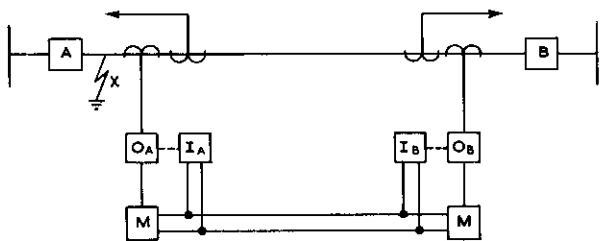


Figure 2.25 - Exemple de protection de distance à caractéristique discontinue

Les caractéristiques discontinues représentées figure 2.25 relient l'extrémité de la portée de chaque zone à son temps de fonctionnement nominal pour des défauts francs, où l'impédance de la ligne en défaut est prédominante. Ces conditions ne sont pas toujours valables en pratique, et par exemple on peut rencontrer une résistance supplémentaire, ou les impédances peuvent être celles résultant de conditions anormales comme la perte de synchronisme. Les caractéristiques sont donc souvent présentées sous forme complexe comme dans les deux exemples de la figure 2.26. Elles fournissent une information plus complète sur les propriétés sélectives ou directionnelles de la protection.

L'utilité de la liaison de téléinformation pour les protections de distance discutées dans cette section et dans d'autres, est d'éviter le retard dû au déclenchement en deuxième stade pour des défauts sur le circuit protégé. Ce retard, de l'ordre de 300 à 500 ms n'est parfois pas souhaitable sur les réseaux modernes, comme l'indiquait la section 1.6. Pour un défaut sur le circuit protégé, une extrémité, ou l'autre, ou les deux, fonctionnent en premier stade et la liaison de téléinformation peut être utilisée, comme indiqué figure 2.27., pour signaler ce fonctionnement à l'autre extrémité et ainsi "accélérer" le déclenchement en ramenant le temps du 2e stade vers celui du 1er stade. L'ordre reçu peut commander directement le déclenchement (on parle alors de déclenchement direct sans dépassement) comme dans un système de déclenchement interdépendant et dans ce cas les remarques de la section 2.3.2.1 s'appliquent. Il est plus courant cependant de contrôler le déclenchement sous l'action du signal reçu par des relais de mesure. Ces relais peuvent être les relais de distance du 2e ou du 3e stade. Il est préférable d'utiliser un schéma dans lequel les relais de contrôle, c'est-à-dire les relais de 2e ou 3e stade, aient déjà fonctionné indépendamment du signal reçu. Ceci permet de réaliser un déclenchement accéléré rapide par rapport au retard normal du 2e stade. On parle souvent dans ce cas de déclenchement interdépendant conditionnel.

cuit is associated with back-up protection and the time delay is generally acceptable, see Sections 1.5 and 1.6.11.



FAULT AT 'X' CAUSES TRIPPING OF A. FAULT IS STILL FED FROM B, AS MAIN PROTECTION SEES AN EXTERNAL FAULT. CONTINUED ENERGISATION OF O_A WITH A OPEN CAUSES I_A TO SUPPRESS THE MAIN PROTECTION SIGNAL AT 'A' OR INJECTS AN UNBALANCING SIGNAL

UN DEFAUT EN 'X' PROVOQUE LE DECLENCHEMENT DE A. LE DEFAUT EST TOUJOURS ALIMENTE PAR B ET COMME LA PROTECTION PRINCIPALE VOIT UN DEFAUT EXTERNE. LE MAINTIEN DE L'EXCITATION DE O_A ALORS QUE A EST OUVERT FAIT QUE I_A SUPPRIME LE SIGNAL DE LA PROTECTION PRINCIPALE EN A OU INJECTE UN SIGNAL DE DESEQUILIBRE

- M - MAIN PROTECTION - PROTECTION PRINCIPALE
- O - FAULT DETECTING RELAYS - RELAIS DE DETECTION DES DEFAUTS
- I - INTERTRIPPING EQUIPMENT-EQUIPEMENT D'INTERDECLENCHEMENT

Figure 2.24 - Intertripping over main protection

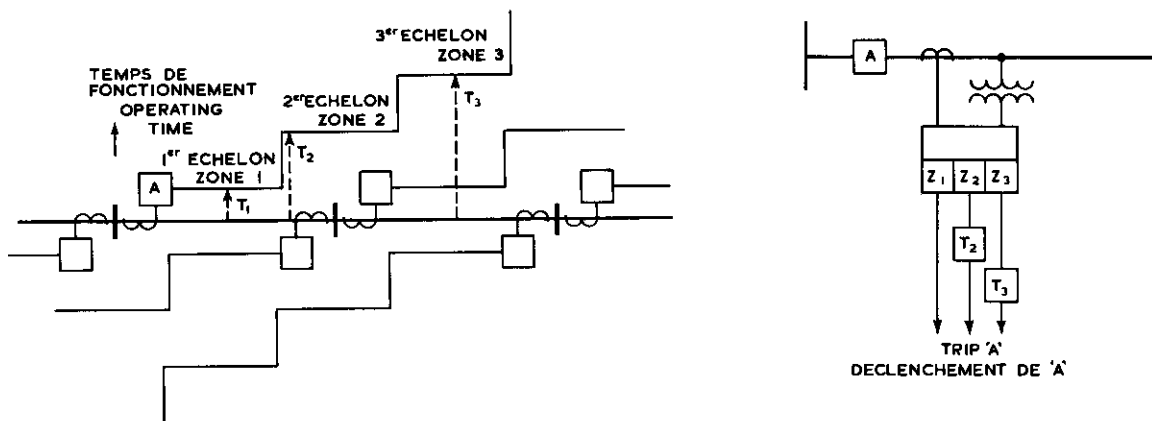


Figure 2.25 - Typical stepped distance/time protection

The stepped characteristics, shown in figure 2.25, relate the forward reach of each zone with its nominal operating time for solid faults when the fault impedance of the line prevails. Such conditions may not apply in practice, e.g. additional resistance may occur or the impedances may be those arising from an abnormal condition such as loss of synchronism. The characteristics are therefore often shown in complex form as in the two examples in figure 2.26. These give more information about the selective or directional properties of the protection.

The use of an information link with distance protection, as discussed in this section and others, is to avoid the delayed tripping in Zone 2 for faults on the protected circuit. These delays, typically 300 - 500 ms are sometimes undesirable on modern power systems, as discussed in Section 1.6. For a fault on the protected circuit, one end, or the other, or both will experience a Zone 1 relay operation and the information link can be used, as shown in figure 2.27, to convey information of such relay operation from one end to the other and thus an "acceleration" in tripping from Zone 2 time towards Zone 1. The received command may trip directly (sometimes called direct underreaching) in the same manner as an intertripping system, in which case the remarks in Section 2.3.2.1 are applicable. It is more usual, however, to make the tripping action of the received signal dependent on fault detecting relays, which can conveniently be the Zone 2 or Zone 3 distance relays. It is preferable to use an arrangement in which the controlling relay, i.e. Zone 2 or Zone 3, has operated independently of the received signal. This achieves a fast accelerated tripping time, in comparison with the normal time delay of Zone 2. The arrangement is sometimes known as "permissive intertripping".

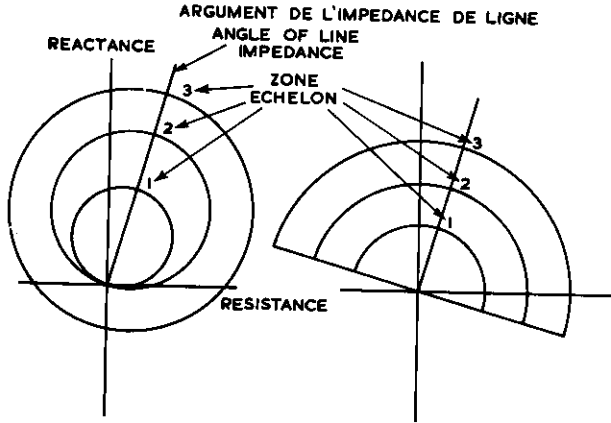


Figure 2.26 - Caractéristiques d'impédance des relais de distance

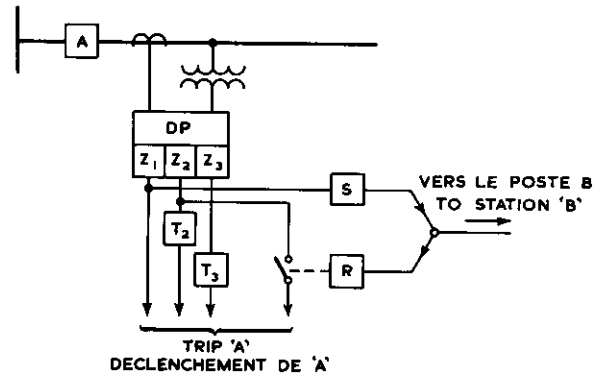


Figure 2.27 - Protection de distance à accélération avec déclenchement interdépendant contrôlé

Un des principaux avantages de ce système est qu'une défaillance de la liaison de télé-information n'empêche pas le fonctionnement correct de la protection de base, à caractéristique distance - temps discontinue, mais ne fait que retarder le déclenchement à une extrémité pour certains emplacements de défauts. Pour cette raison, on dit souvent que dans cette application, la liaison de téléinformation joue un rôle auxiliaire, ou additionnel.

Le contrôle de l'ordre reçu par les relais de mesure locaux limite le risque de déclenchement intempestif aux seuls cas où ces relais fonctionnent. Le bruit dû à un défaut ou au fonctionnement d'un disjoncteur (voir section 3.1.1.1.) ne peut avoir d'effet que dans les zones indiquées figure 2.28. On a utilisé pour ce type de protection des systèmes simples, sans codage, lorsque la liaison de téléinformation n'était pas soumise à de forts niveaux de perturbations comme c'est le cas pour certains pilotes. Toutefois il semble préférable de coder d'une façon ou d'une autre, surtout avec les courants porteurs, sur ligne, ce qui se fait généralement par déplacement de fréquence.

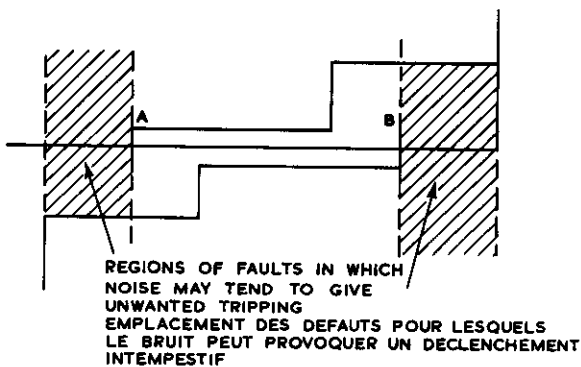


Figure 2.28 - Protection de distance à accélération - limitation des effets du bruit

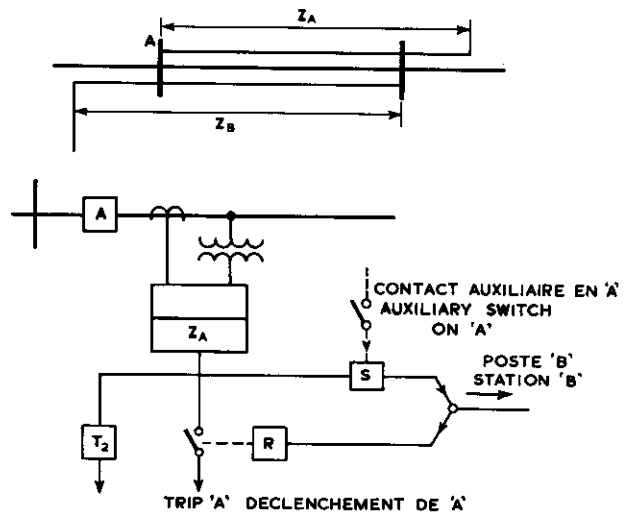


Figure 2.29 - Protection de distance à dépassement avec autorisation

Les systèmes à codage élaboré ne conviennent pas en général, surtout sur fils pilotes, en raison de leur temps global de fonctionnement élevé. Le temps global de fonctionnement doit être inférieur à 50 ms si l'on veut obtenir une amélioration appréciable par rapport au déclenchement en 2e stade.

Les liaisons radio conviennent, dans le domaine d'application indiqué à la section 4, les exigences en sécurité étant liées à l'importance que l'on attache à la fonction d'accélération.

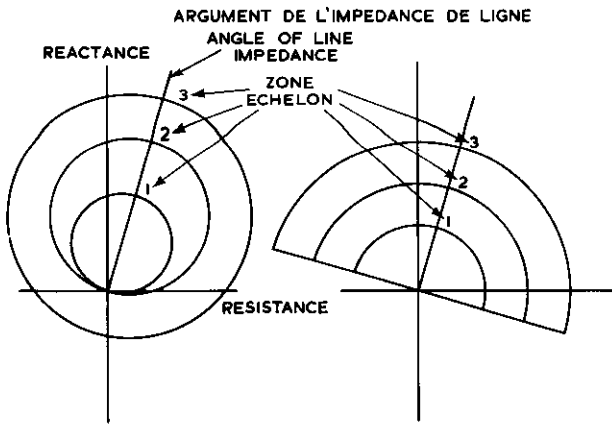


Figure 2.26 - Complex impedance characteristics of distance relays

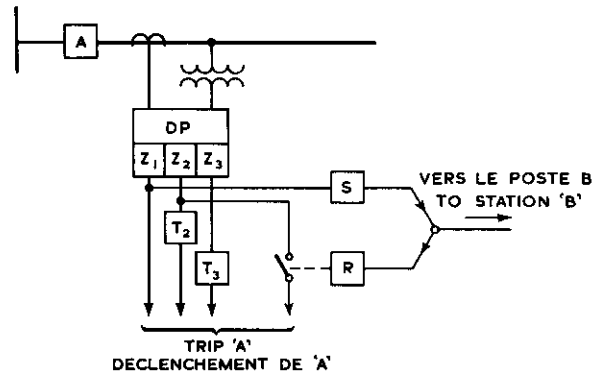


Figure 2.27 - Accelerated distance protection using permissive intertripping

One of the main advantages of this type of system is that failure of the information link does not prevent the correct performance of the basic scheme of stepped distance-time protection, but delays tripping at one end for certain positions of fault. For this reason, this type of application is sometimes described as one in which the information link is an ancillary or supplementary feature.

The control of the received command by local fault detecting relays limits the risk of unwanted tripping to those conditions for which these relays operate. Noise caused by a fault and the operation of circuit-breakers, as discussed in Section 3.1.1.1, is therefore relevant for the zones shown in figure 2.28. Plain uncoded systems have been used for this type of protection, where the type of information link is not subject to high levels of interference, e.g. some types of pilot wires. However, some form of coding is preferred, especially when power line carrier is used and this is generally of the frequency-shift type. Elaborate coding systems are not generally suitable, particularly with pilot wires, because of the slow overall operating time. Overall operating times need to be less than 50 ms if an adequate improvement over the Zone 2 tripping time is to be achieved.

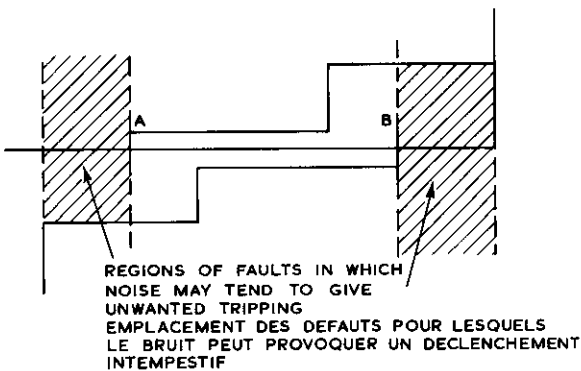


Figure 2.28 - Accelerated distance protection-limitation of effects of noise

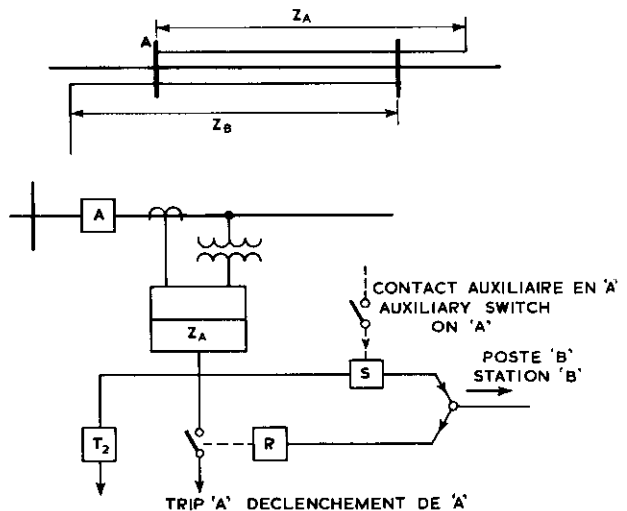


Figure 2.29 - Permissive over-reaching distance protection

Radio links, within the application ranges quoted in Section 4, are suitable, the reliability requirements being related to the degree of importance associated with the acceleration feature.

2.3.2.4 - Déclenchement conditionnel avec dépassement

C'est un autre procédé, consistant à envoyer un ordre de déclenchement en cas de défaut interne, pour obtenir le déclenchement rapide, en utilisant une protection de distance, quel que soit l'emplacement du défaut interne. Les dispositions générales sont indiquées figure 2.29, la portée des relais directionnels de premier stade dépassant l'extrémité du circuit. Les relais de premier stade ne sont pas autorisés à effectuer directement un déclenchement rapide et le déclenchement dépend à la fois du fonctionnement d'un relais de premier stade et de la réception d'un ordre de déclenchement de l'extrémité éloignée. Ceci revient à dire que le déclenchement à chaque extrémité requiert le fonctionnement des relais de premier stade aux deux extrémités. On conçoit que le fonctionnement correct des deux relais et le fonctionnement correct de la liaison de téléinformation (dans les deux sens) soient nécessaires pour l'élimination complète d'un circuit en défaut. La liaison de téléinformation est ici un élément essentiel qui doit présenter un très haut degré de sécurité.

Le risque de déclenchement intempestif, évoqué en 2.3.2.3 ci-dessus, se réduit au cas du bruit produit par un défaut ou le fonctionnement d'un disjoncteur, juste au-delà des extrémités du circuit. Les remarques concernant le codage sont les mêmes qu'en 2.3.2.3. L'effet du bruit, pendant un défaut interne n'est important que pour autant qu'il risque de supprimer le signal utile et de retarder le déclenchement.

Le temps de fonctionnement de la protection, pour tout défaut interne, comprend le temps global de transmission et de réception, qui doit être relativement court, par exemple 20 à 30 ms, ou même moins. Il est nécessaire d'avoir une séparation suffisante entre les deux sens de transmission pour éviter la diaphonie et les déclenchements intempestifs éventuels, de sorte que la largeur de bande nécessaire est plus grande que pour les systèmes à accélération.

Des fils pilotes peuvent être employés, pourvu qu'ils satisfassent aux exigences de sécurité et de rapidité, et l'on utiliserait probablement dans ce cas le déplacement de fréquence. L'emploi de courants porteurs sur ligne est également possible, avec usage aussi du déplacement de fréquence. Des liaisons radio très sûres peuvent encore être utilisées. Dans tous les cas l'adjonction d'un dispositif de surveillance continue de la liaison serait justifiée, en raison du rôle essentiel de celle-ci pour le déclenchement. On peut alors s'arranger pour qu'une défaillance de la liaison de téléinformation provoque le retour à un schéma normal à échelonnement de distance et de temps.

Le choix et l'emploi des relais de distance pour un système conditionnel avec dépassement exigent quelques précautions. Par exemple, un défaut situé près d'une extrémité sera éliminé en un temps qui dépend du temps de fonctionnement du relais de l'autre extrémité, relais qui peut ne pas agir assez rapidement si le courant de défaut à cette extrémité est relativement peu important. Ce système n'est applicable que si les deux extrémités du circuit protégé peuvent fournir un courant de défaut suffisant. Si un disjoncteur est ouvert à une extrémité, le déclenchement de l'autre extrémité doit être rendu indépendant du fonctionnement des relais à l'extrémité ouverte. Les problèmes d'inversion du sens du courant de défaut, par exemple après l'élimination partielle d'un défaut externe, peuvent exiger un examen sérieux des temps de fonctionnement et de retour des relais.

2.3.3 - Systèmes basés sur un ordre de verrouillage

Cette classe de protections est basée sur le principe de la détection du courant "sortant" à une extrémité du circuit protégé lorsque le défaut lui est extérieur. La détection de ce courant provoque la transmission d'un ordre qui verrouille le déclenchement à l'extrémité où le courant est "entrant", c'est-à-dire des barres vers le circuit (voir Fig. 2.30). Une protection de ce type diffère fondamentalement de celles dans lesquelles la circulation d'un courant "entrant" donne lieu à un ordre de déclenchement (voir section 2.3.2.4.). Dans un système à verrouillage, chaque extrémité peut verrouiller l'autre, sans qu'il soit en général nécessaire de distinguer entre les deux signaux. On peut utiliser un seul canal et la largeur de bande est donc d'autant plus faible. Les systèmes à verrouillage ont quelques ressemblances avec les systèmes à comparaison de phase (voir section 2.2.3.) mais en différent en ce sens que la direction du courant de défaut est établie par la mesure de son déphasage par rapport à la tension.

2.3.2.4 - Permissive Overreaching

This is another method of sending a tripping command under internal fault conditions to obtain high speed tripping with distance protection for all positions of internal fault. The arrangement is generally as shown in figure 2.29, the reach of the directional Zone 1 relays being beyond the end of the circuit. The Zone 1 relays cannot be permitted to trip directly at high speed and each tripping is made dependent on both the operation of a Zone 1 relay and the reception of a tripping command from the far end, i.e. tripping at each end depends on Zone 1 relay operation at both ends. It will be appreciated that the correct operation of both relays and the correct functioning of the information link (in both directions) are necessary for complete isolation of a faulted circuit and the information link is thus an essential feature. The information link requires very high reliability for such applications.

The risk of unwanted tripping is, as in 2.3.2.3 above, limited to noise produced by a fault or circuit-breaker operation just beyond the ends of the circuit. The remarks concerning coding of the system are similar to 2.3.2.3 above. The effects of noise during internal faults will be important mainly in relation to the possibility of suppressing the true signal and thus delaying tripping.

The operating time of the protection for all positions of faults on the protected circuit includes the overall transmission and this should be relatively short, i.e. of the order of 20 - 30 ms or less. There is a need to separate the two directions of signalling sufficiently to avoid cross-talk and possible unwanted tripping, so that the bandwidth required is greater than that for an acceleration system.

Pilot wires may be applied provided they satisfy the requirements of high reliability and speed and a frequency shift system would probably be used. Power line carrier would also be possible, again probably using a frequency shift system. Radio links of high reliability would also be possible. In all cases, the system would justify the provision of continuous supervision of the information link because of its essential role in tripping. Failure of the information link could be arranged to revert the protection to a normal stepped distance-time scheme.

The choice and application of the distance relays for schemes of permissive overreaching protection requires some care. For example, a fault close to one end will be tripped in a time dependent on the operating time of the far end relay, which may not be fast enough because the fault current at the far end may be relatively low. This type of system is applicable only where there is an adequate feed of fault current at both ends of the protected circuit. If a circuit-breaker at one end is open, the tripping of the other end must be made independent of relay operation at the open end. Problems of reversal of fault current direction, e.g. following partial clearance of an external fault may require consideration of operating and resetting times of relays.

2.3.3 - Systems based on a command to block tripping

This class of protection is based on the principle of detecting the "outward" flow of current at one end of the protected circuit when the fault is external to it. This detection initiates the transmission of a command which blocks the tripping action at the end at which the flow of current is "inwards", i.e. from busbar to circuit shown in figure 2.30. Protection of this type differs fundamentally from that in which the "inward" flow of fault current initiates a command to trip, see Section 2.3.2.4. In a blocking system, either end may block the other and it is not generally necessary to distinguish between the two signals. A single channel may be used and the bandwidth is thus correspondingly less. Blocking systems have some similarity to phase comparison systems (see Section 2.2.3) but differ in that the "direction" of flow of fault current is established by measuring its phase angle relative to the voltage.

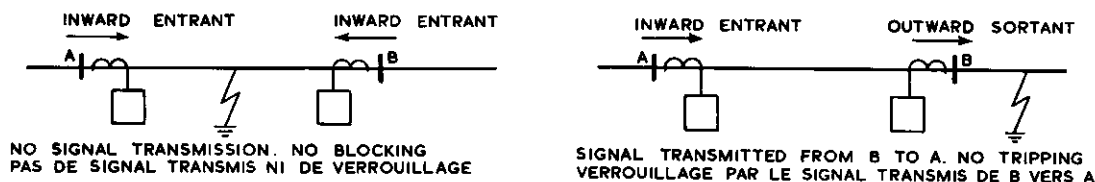


Figure 2.30 - Sélectivité par dispositifs de verrouillage

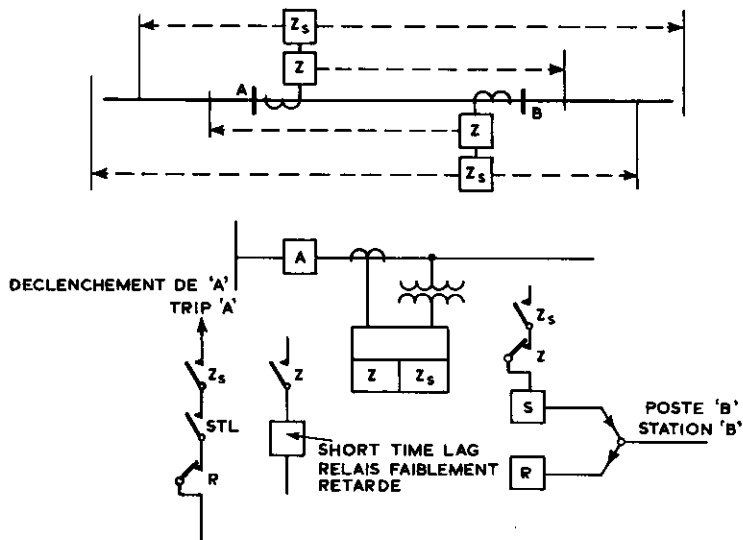


Figure 2.31 - Exemple de protection de distance à verrouillage

Dans les systèmes à verrouillage, la transmission joue un rôle essentiel pour éviter le déclenchement intempestif sur défauts externes. La défaillance de la liaison de téléinformation n'affecte pas en général l'aptitude de la protection à déclencher correctement sur défauts internes.

L'emploi de la liaison de téléinformation dans une fonction de verrouillage supprime le problème de déclenchement intempestif sous l'action de perturbations, à moins que celles-ci n'entraînent la suppression du signal utile. Pour cette raison on donne parfois la préférence à un signal non codé. Les perturbations de caractère impulsif produites pendant un défaut interne peuvent entraîner un certain retard au déclenchement mais celui-ci ne dépasse guère 10 ms, ce qui est acceptable.

Pour que le verrouillage agisse correctement sur défauts externes, il faut que le déclenchement par les relais de l'extrémité où le courant est "entrant" soit retardé, pour s'assurer que l'ordre venant de l'extrémité où le courant est "sortant" a bien été reçu. Ce retard doit être réduit au minimum ce qui signifie que le temps global de transmission doit être court. La liaison de téléinformation doit donc, de façon générale, être à la fois sûre et rapide.

Les relais de détection utilisés dans les systèmes à verrouillage peuvent être des relais directionnels d'impédance ou directionnels de courant. Les sections suivantes en donnent des exemples.

2.3.3.1 - Protection de distance avec verrouillage du déclenchement

Ce schéma, indiqué figure 2.31, utilise des relais de distance rapides dont le premier stade directionnel dépasse l'extrémité du circuit. La transmission de l'ordre de verrouillage est provoquée par le relais de distance non directionnel, de mise en route ou de troisième stade, et est interrompue par le relais de premier stade. Sur les défauts externes, une extrémité ou l'autre transmettent un signal de verrouillage et ce n'est que pour les défauts internes que l'envoi de signaux de verrouillage est interrompu aux deux extrémités.

Dans leurs gammes respectives d'utilisation, toutes les sortes de liaisons de téléinformation peuvent être employées, pourvu qu'elles satisfassent aux exigences de rapidité et de sécurité. L'emploi d'un réglage du premier stade dépassant la longueur du circuit peut être avantageux lorsqu'on l'applique à des lignes aériennes de longueur relativement courte (moins de 30 km, voir Section 1.6.8) et les fils pilotes, lorsqu'on peut en disposer, sont particulièrement indiqués pour ces applications.

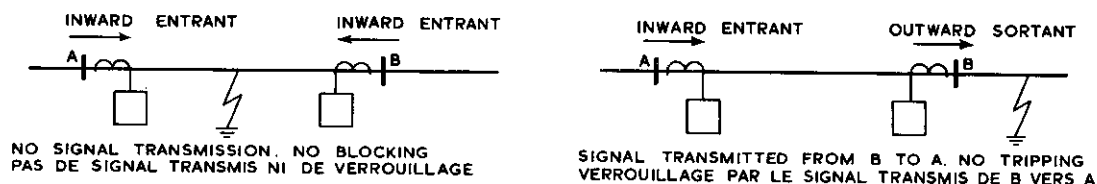


Figure 2.30 - Selectivity by means of blocking

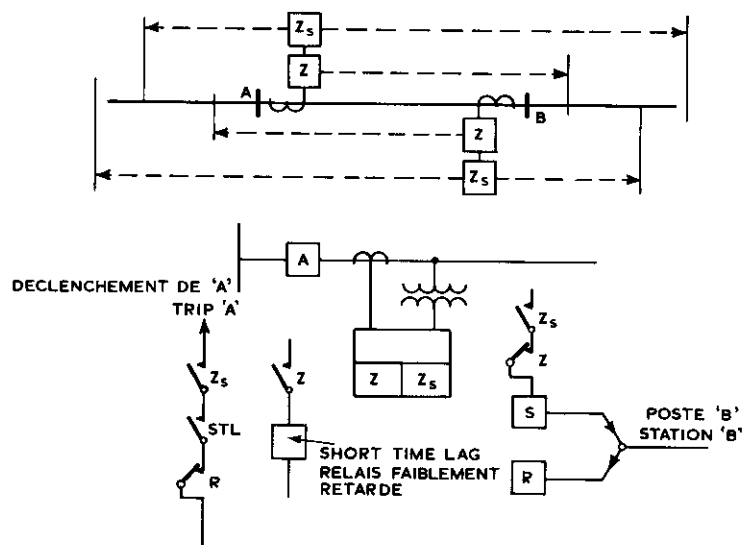


Figure 2.31 - Typical scheme of blocking distance protection

In blocking systems, the transmission is an essential requirement for avoiding unwanted tripping on external faults. The loss of the information link does not generally affect the ability of the protection to trip correctly on internal faults.

The use of the information link in a blocking sense avoids the problem of unwanted tripping due to interference unless this can cause suppression of the true signal. For this reason, an uncoded signal is sometimes preferred. Impulsive interference during internal faults may cause a temporary delay in tripping, but this is not likely to exceed 10 ms and is generally acceptable.

To obtain correct blocking action on an external fault, the tripping action of the relays at the end feeding "inward" current must be delayed sufficiently to ensure that the command from "outward" feeding end has been received. This delay must be kept to a minimum and this means a fast overall transmission time. The general requirement for the information link is that it should be both fast and reliable.

Detecting relays used for blocking systems may be either directional impedance or directional current and typical examples of these are given in the following sections.

2.3.3.1 - Distance Protection with Blocking of Tripping

This arrangement, shown in figure 2.31, uses high speed distance relays with a directional Zone 1 reaching beyond the circuit end. The transmission of the blocking signal is initiated by the non-directional distance relay, either starting or Zone 3, and is interrupted by the Zone 1 relay. Either one end or the other will transmit a blocking signal on external faults and only on internal faults will blocking signals be interrupted at both ends.

Within their respective ranges of application, all forms of information link may be used, provided they satisfy the requirements for speed and reliability. The use of Zone 1 settings in excess of the circuit length can be advantageous when applying this system to relatively short lengths of overhead line, e.g. less than 30 km (see Section 1.6.8) and pilot wires, when available, are particularly suitable for such applications.

En raison de l'importance de la liaison de téléinformation on peut prévoir un système de surveillance et celui-ci peut être conçu pour ramener le réglage des relais de premier stade à la valeur normale de 70 à 85 % de la longueur du circuit en cas de défaillance de la liaison.

2.3.3.2 - Comparaison du sens de la puissance

Ce type de protection utilise une combinaison de relais de courant directionnels et non-directionnels, comme indiqué figure 2.32. Les relais directionnels qui détectent les défauts entre phases sont polarisés par la tension au point de relayage. Les relais détectant les défauts à la terre peuvent être polarisés par la tension ou par un courant de référence, par exemple le courant dans la mise à la terre du neutre d'un transformateur proche du point de relayage. La transmission du signal de verrouillage est provoquée par les relais non-directionnels et interrompue par les relais directionnels.

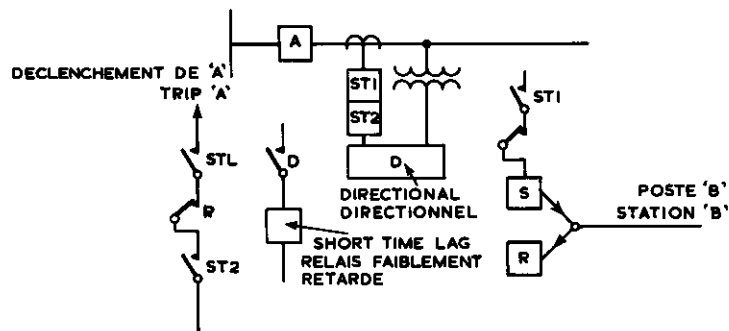


Figure 2.32 - Exemple de comparaison du sens de la puissance

Les exigences sont les mêmes que celles discutées ci-dessus en 2.3.3.1 et les mêmes remarques s'appliquent en ce qui concerne les perturbations et la sécurité de fonctionnement de la liaison de téléinformation.

Comme pour la protection à comparaison de phase, (voir section 2.2.3.) l'effet du courant capacitif, aux faibles valeurs de courant de défaut, peut jouer sur la rigueur de la comparaison et ainsi affecter les valeurs pratiques de réglage. Il est possible d'employer des méthodes similaires pour compenser l'effet du courant capacitif.

Les relais de mise en route, non directionnels, sont en général à deux seuils, avec réglage haut et bas. Le réglage élevé commande la séquence de déclenchement local et le réglage bas, sous réserve du non-fonctionnement du relais directionnel, commande l'émission du signal de verrouillage.

La valeur de réglage des relais de mise en route à maximum de courant sur défauts entre phases est limitée par la charge maximale sur le circuit protégé, ce qui peut créer des difficultés dans les cas où les courants de défaut les plus faibles sont comparables aux courants de charge maximaux. Il en est ainsi, en particulier, lorsque la liaison de téléinformation est normalement utilisée pour un autre usage ou lorsque la transmission permanente de signaux n'est pas possible (par exemple la transmission à niveau élevée par courants porteurs sur ligne). Dans ce cas, on peut utiliser des relais de distance non-directionnels pour la mise en route. La grande sensibilité qu'il est possible d'obtenir avec une protection contre les défauts à la terre du type à comparaison du sens de la puissance en fait un élément apprécié dans certains schémas de protection où la résistivité du sol ou l'armement de la ligne limitent la valeur des courants de défaut à la terre.

Toutes les sortes de liaisons de téléinformation peuvent être employées, dans leurs limites d'utilisation. Une sécurité de fonctionnement élevée et une grande rapidité de la transmission globale sont nécessaires pour les raisons exposées en 2.3.3.1.

2.4 - SYSTEMES A EXTREMITES MULTIPLES

Pour des raisons économiques, en particulier dans les réseaux en cours de développement, on est souvent conduit à utiliser des circuits à extrémités multiples plutôt que le circuit

simple à deux extrémités. Il existe de nombreuses configurations pratiques de ces circuits mais on peut les classer, de façon générale, en deux grandes catégories : les circuits en T et les circuits en piquage comme indiqué figure 2.33. Les circuits en T sont généralement pourvus de disjoncteurs à chacune de leurs extrémités et l'interconnexion entre deux quelconques de celles-ci présente la même importance. Dans le cas d'un circuit avec piquage, le circuit principal est fondamentalement à deux extrémités, avec un disjoncteur à chacune d'elles, et constitue l'interconnexion principale. Les points de piquage sont créés par le raccordement de transformateurs au circuit principal, des disjoncteurs n'étant prévus que du côté de la tension inférieure. Ces transformateurs alimentent des charges et sont généralement moins importants que le circuit principal.

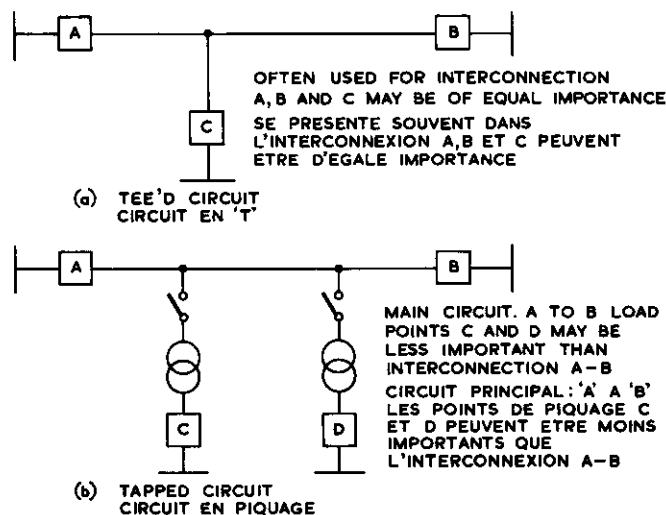


Figure 2.33 - Exemples de circuits à extrémités multiples

L'usage de circuits à extrémités multiples soulève des problèmes de protection, évoqués dans le Rapport C. I. G. R. E. n° 329 - 1964. Ces problèmes touchent les types de relais à utiliser et le degré de protection qu'ils procurent (valeurs de réglage, sélectivité et temps de fonctionnement). Beaucoup de ces problèmes sont simplifiés ou même résolus par l'emploi de liaisons de téléinformation pour la protection. Dans ces réseaux, l'échange d'informations au moyen de la liaison est souvent plus complexe que pour les circuits simples à deux extrémités et, si l'on emploie les courants porteurs sur ligne, la liaison de téléinformation elle-même devient plus compliquée.

Quelques problèmes d'importance particulière pour la protection des circuits à extrémités multiples sont résumés ci-dessous.

2.4.1 - Déclenchement interdépendant

Ceci représente une nécessité impérieuse lorsque les transformateurs sont raccordés sans disjoncteur interposé (voir section 1.6.4.). Le déclenchement interdépendant est généralement direct, comme indiqué à la section 2.3.1 et la liaison de téléinformation doit présenter des qualités de haute sécurité de fonctionnement et de rapidité de la transmission globale. Cette dernière devrait s'effectuer en moins de 100 ms si l'on veut limiter les dégâts résultant de défauts dans la cuve du transformateur. On obtient souvent cette grande rapidité de fonctionnement et la sécurité du fonctionnement en présence de bruit (protection contre les déclenchements intempestifs) par l'emploi de systèmes à déplacement de fréquence.

Toutes les sortes de liaisons de téléinformation peuvent être employées, dans leur plage d'utilisation. Dans le cas d'une protection par courants porteurs sur ligne, les points de piquage peuvent compliquer la mise en œuvre, en augmentant l'affaiblissement par exemple, et nécessiter l'emploi d'un supplément de matériel (circuits bouchons).

Dans certaines applications, les conducteurs primaires eux-mêmes peuvent être utilisés pour la transmission de l'ordre de déclenchement. On crée un court-circuit (par exemple au moyen d'un court-circuiteur) qui provoque le fonctionnement des relais éloignés (voir le Rapport C. I. G. R. E. n° 329 - 1964 et la section 2.3.2.1 du présent rapport).

There are many practical configurations of such circuits, but they generally fall into two main classes, tee'd circuits and tapped circuits as shown in figure 2.33. Tee'd circuits are generally provided with circuit-breakers at each of the multi-ends and the interconnections between ends are of comparable importance. In the case of a tapped circuit, the main circuit is basically two-ended, with circuit-breakers at each end, and this constitutes a main interconnection on the system. The tapping points are formed by connecting transformers to the main circuit with circuit-breakers only on the secondary lower voltage side. The transformers supply loads and are generally less important than the main circuit.

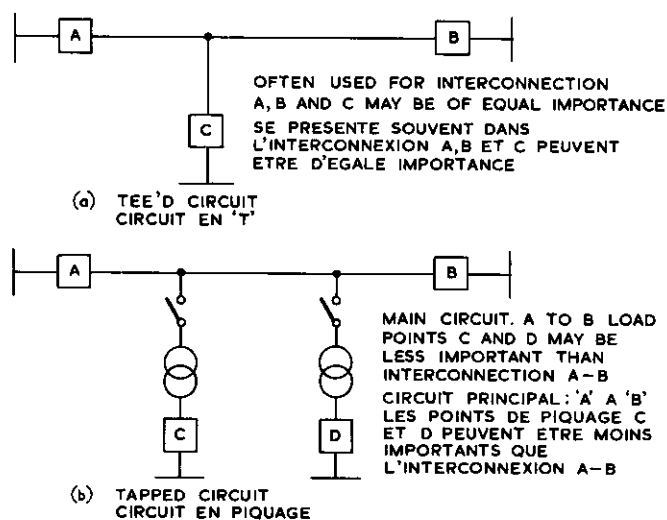


Figure 2.33 - Typical multi-ended circuits

The use of multi-ended circuits creates problems in their protection, and these are referred to in C.I.G.R.E. Report No. 329 - 1964. These problems affect the types of relays which may be used and the degree of protection afforded, i.e. operating values, selectivity and operating time. Many of these problems may be reduced or eliminated by using information links for protection. In such systems the interchange of information over the link may be more complex than in a simple two-ended circuit and, in the case of power line carrier, the information link itself becomes more complicated.

Some problems of special importance in the protection of multi-ended circuits are summarised as follows.

2.4.1 - Intertripping

This is an important requirement where transformers are connected without circuit-breakers, see Section 1.6.4. The intertripping will generally be direct, such as described in Section 2.3.1 and the information link will be associated with requirements of high reliability and fast overall transmission. The latter should be less than 100 ms so as to limit the damage resulting from faults within the tank of the transformer. High speed operation and reliability in the presence of noise, i.e. unwanted tripping, are often obtained by the use of frequency shift systems.

All types of information link may be used within their ranges of application. In the case of power line carrier protection the tapping points may complicate the application, e.g. increase attenuation, and may require additional equipment, e.g. line traps.

In some applications, the primary conductors themselves may be used to transmit the intertripping command by applying a short circuit, e.g. fault throwing switch, which causes operation of the remote relays, see C.I.G.R.E. Report No. 329 - 1964, and Section 2.3.2.1 of this report.

Dans les cas où le circuit principal est important pour l'interconnexion, on peut réaliser le réenclenchement automatique du circuit principal après le déclenchement, et l'isolement du défaut sur le transformateur au moyen d'un sectionneur à commande automatique (voir Rapport C.I.G.R.E. n° 329 - 1964). Selon le type de la protection utilisée, ceci peut nécessiter l'adjonction de liaisons de téléinformation.

2.4.2 - Relais de distance

Les relais à caractéristiques distance - temps discontinues peuvent s'adapter à de nombreuses modifications du circuit primaire au prix d'un ajustement de leur réglage. Ils conviennent donc particulièrement pour les circuits à extrémités multiples, surtout ceux comportant des transformateurs en piquage. Le choix convenable de la portée du premier stade (fonctionnement rapide) peut se révéler difficile car il doit tenir compte des impédances vues jusqu'à chacune des autres extrémités. Dans ces conditions, la portée du premier stade peut être insuffisante (voir Fig. 2.34) s'il est réglé de façon à éviter le dépassement de l'extrémité la plus proche, et une proportion importante du circuit peut n'être protégée que par le deuxième stade retardé. Lorsque les points de piquage correspondent à des transformateurs, la solution est plus aisée car le premier stade peut couvrir une partie de l'impédance du transformateur. On peut employer des liaisons de téléinformation en liaison avec les relais de distance (voir section 2.3.) pour résoudre certaines de ces difficultés. Dans le cas d'un système à accélération, le fonctionnement d'un quelconque des relais de premier stade peut envoyer un ordre de déclenchement à toutes les autres extrémités et il n'est pas nécessaire alors de séparer les différents canaux d'ordres. Un système à déclenchement conditionnel avec dépassement exigerait une séparation des canaux concernant les diverses extrémités. Un système à verrouillage ne nécessiterait pas de canaux séparés.

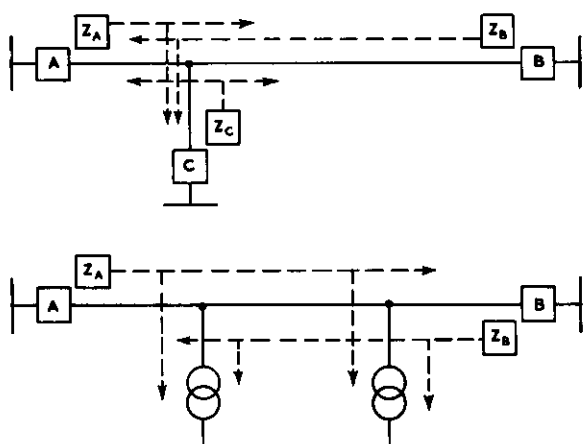
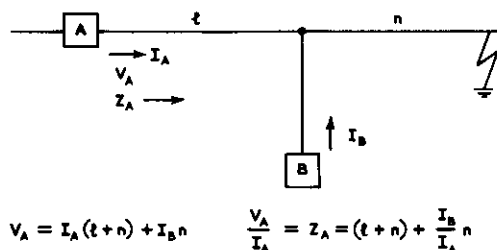


Figure 2.34 - Portée du 1er échelon sur des circuits à extrémités multiples



$$V_A = I_A(t+n) + I_B n \quad \frac{V_A}{I_A} = Z_A = (t+n) + \frac{I_B}{I_A} n$$

THE NOMINAL IMPEDANCE $(t+n)$ IS INCREASED OR DECREASED
L'IMPEDANCE NOMINALE $(t+n)$ EST AUGMENTÉE OU DIMINUÉE

$$\text{BY } \frac{I_B}{I_A} n \quad \text{DE } \frac{I_B}{I_A} n$$

Figure 2.35 - Erreur due à une injection

La portée d'un relais de distance sur un circuit, est modifiée par les courants de défaut entrant ou sortant de ce circuit, comme indiqué figure 2.35. Cette action est importante sur les circuits à extrémités multiples car elle peut augmenter ou diminuer l'impédance primaire apparente en cas de défauts, rendant la portée trop courte ou trop longue. Cela a une importance particulière dans le cas de la portée du premier stade pour les défauts internes car dans le premier cas il faudrait une portée plus longue pour accroître la zone couverte et dans le second une portée plus courte pour éviter le dépassement des extrémités et la perte de la sélectivité.

Une analyse individuelle est souvent nécessaire pour juger de l'incidence de ces différents effets. Dans de nombreux cas, lorsque les points de piquage sont des charges passives, on peut les négliger. On peut aussi, pour les réduire, utiliser des liaisons de téléinformation en conjonction avec les relais de distance et, d'une façon générale, les systèmes utilisant des relais de premier stade dépassant les extrémités du circuit, par exemple le déclenchement conditionnel avec dépassement ou les systèmes à verrouillage, sont d'application plus facile.

In cases where the main circuit is an important interconnection, automatic reclosing of the main circuit may be arranged to follow tripping and disconnection of the transformer fault by an automatic isolator, see C.I.G.R.E. Report No. 329 - 1964. According to the type of protection, this may require further use of information links.

2.4.2 - Distance Relays

Stepped distance-time relays may readily accommodate many changes in the primary circuit by adjustment of their settings. They are thus particularly suited to the application to multi-ended circuits, especially those involving transformer tapping points. The choice of a suitable Zone 1 (high speed reach) may sometimes prove difficult because it has to accommodate the various impedances to all the other ends. On this basis the Zone 1 coverage may be insufficient, see figure 2.34, when set to avoid overreaching the nearest end, and a considerable proportion of the circuit may be protected by time delayed Zone 2. When the tapping points include transformers, this problem is eased because the Zone 1 may reach into part of the transformer impedance. Information links may be used in conjunction with distance relays, see Section 2.3, to overcome some of these problems. In the case of an acceleration system, operation of any Zone 1 relay would send a tripping command to all other terminals, and it would not be necessary to separate the various channels of command. A permissive overreaching system would generally require separation of channels between the various ends. A blocking system need not have separate channels.

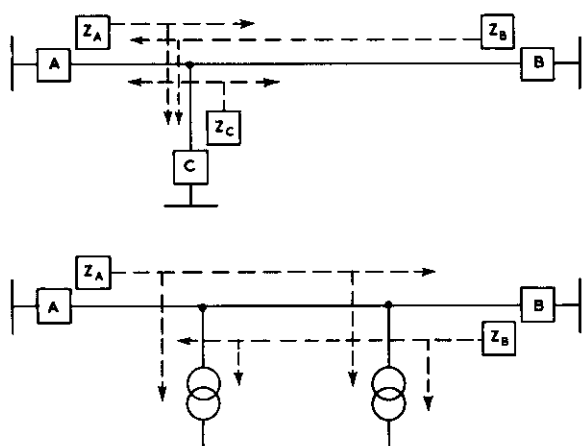
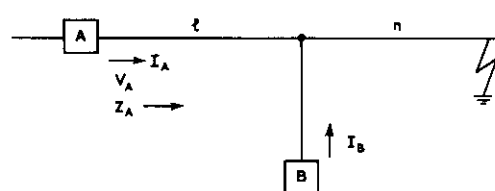


Figure 2.34 - Zone 1 reach on multi-ended circuits



$$V_A = I_A (l + n) + I_B n \quad \frac{V_A}{I_A} = Z_A = (l + n) + \frac{I_B}{I_A} n$$

THE NOMINAL IMPEDANCE (l+n) IS INCREASED OR DECREASED
L'IMPEDANCE NOMINALE (l+n) EST AUGMENTÉE OU DIMINUÉE

$$\text{BY } \frac{I_B}{I_A} n \quad \text{DE } \frac{I_B}{I_A} n$$

Figure 2.35 - Error due to infeed

The reach of a distance relay along a circuit is affected by the infeed or outfeed of fault current within the circuit itself, as shown in figure 2.35. This effect is important on multi-ended circuits because it may increase or decrease the apparent primary impedance seen on faults, causing the protection to underreach or overreach. This is particularly important in the case of Zone 1 reach on internal faults because the one condition requires a lower reach to extend the zone coverage, whereas the other requires a shorter reach to avoid overreaching the terminals and loss of selectivity.

Individual analysis is often required to assess the significance of these effects. In many cases, where the tapping points are static loads, the effects may be negligible. Information links may be used in conjunction with the distance relays to reduce these effects, and generally those systems using Zone 1 relays reaching beyond the circuit ends, e.g. permissive overreaching or blocking, are less difficult to apply.

2.4.3 - Protection différentielle

La protection différentielle longitudinale utilisant des fils pilotes peut s'appliquer sous diverses formes aux circuits à extrémités multiples bien qu'une telle protection soit souvent plus difficile à concevoir, et ses performances moindres que celles des schémas équivalents appliqués aux circuits à deux extrémités. Les systèmes à équilibre de courant ou de tension sont également utilisables mais, pour obtenir des caractéristiques satisfaisantes, il est en général nécessaire d'égaliser chaque branche du pilote pour la ramener à une valeur commune, habituellement celle de la branche la plus longue. Les caractéristiques des fils pilotes ont donc une importance particulière s'il est nécessaire d'effectuer, en plus, une compensation (voir section 2.2.2.).

Dans l'application aux circuits à extrémités multiples, il est préférable que les grandeurs appliquées aux relais à chaque extrémité soient déduites selon un processus linéaire pour conserver le caractère différentiel vrai pour toutes les distributions possibles des courants de défaut entre les différentes extrémités. Ceci exclut l'emploi d'une limitation non - linéaire, comme elle était utilisée pour les circuits à deux extrémités, pour les mêmes raisons que celles présentées en 2.4.4 ci-dessous. Avec un système linéaire, la gamme des tensions et courants appliqués aux fils pilotes peut varier dans un très grand rapport, 100 par exemple. Si l'on se conforme aux restrictions imposées aux valeurs maximales (cas des circuits en location), on peut être conduit à des niveaux de fonctionnement tellement bas qu'il devient difficile d'éviter des fonctionnements intempestifs en présence de bruit.

Un défaut externe n'entraîne pas obligatoirement la circulation d'un courant de défaut à toutes les extrémités d'un circuit à extrémités multiples. Un relais, placé à une extrémité par laquelle le défaut n'est pas alimenté, serait soumis à des signaux de déséquilibre mais il lui manquerait la grandeur de retenue provenant du courant de défaut. Ceci pourrait entraîner un déclenchement intempestif et, dans certains schémas de protection, cette difficulté est surmontée par l'emploi d'un circuit pilote supplémentaire qui effectue la somme des signaux correspondant aux courants de défaut aux diverses extrémités et applique la grandeur de retenue qui en résulte à toutes les extrémités, comme indiqué figure 2.36.

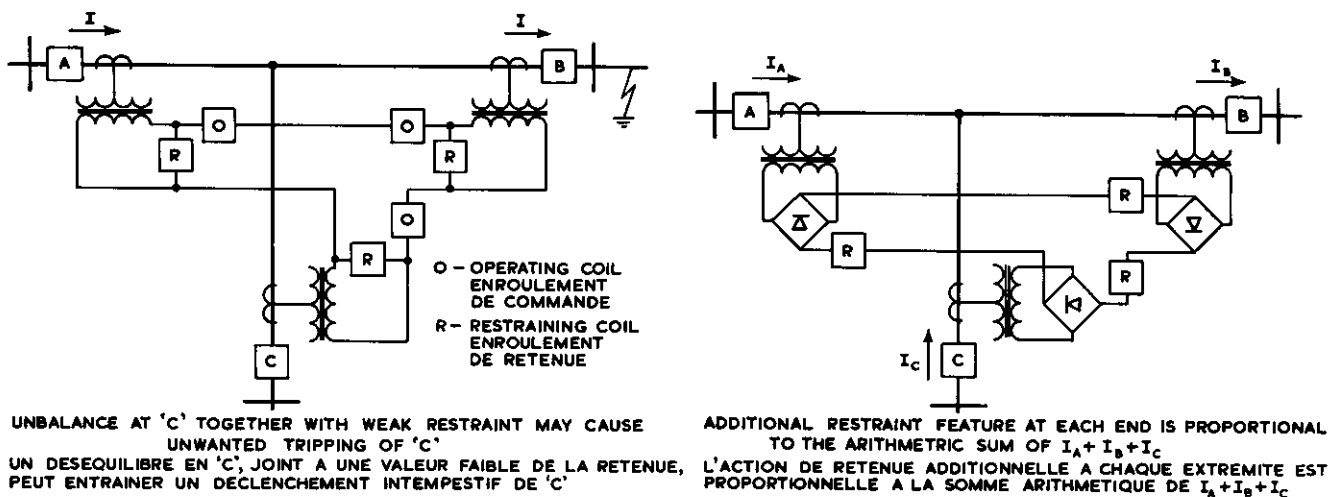


Figure 2.36 - Protection différentielle pour circuits à extrémités multiples

Dans certains pays, on applique aux circuits à extrémités multiples, des systèmes non linéaires de protection différentielle de conception moins poussée, en particulier si l'alimentation du défaut par les points de piquage est limitée. Une telle disposition simplifie le problème des déclenchements intempestifs et évite l'emploi du circuit supplémentaire de fils pilotes auquel il était fait allusion ci-dessus.

2.4.4 - Comparaison de phase et comparaison de sens

Bien qu'il soit possible d'appliquer ces principes de protection aux circuits à extrémités multiples, cela présente en général des difficultés et implique un certain risque de fonctionnement défaillant sur défauts internes. La figure 2.37 montre un circuit à trois extrémités avec

2.4.3 - Differential Protection

Longitudinal differential protection using pilot wires is applicable in various forms to multi-ended circuits although such protection is often more difficult to design, and its performance less than that of equivalent schemes for two-ended circuits. Both current balance and voltage balance systems may be used but, to achieve satisfactory characteristics, it is generally necessary to balance each branch of the pilot wires to some common value, usually that of the longest branch. The pilot wire characteristics are thus important particularly if additional compensation, see Section 2.2.2, is required.

When applied to multi-ended circuits, it is preferable to use linear derivation of the relaying quantities at each end and thus retain the true differential character of the protection for all possible distributions of fault current between the various ends. This implies that non-linear limiting cannot be used in the same way as for a two-ended circuit, the reasons being similar to those discussed in 2.4.4 below. With a linear system, the range of voltage and current impressed on the pilot wires may be very large, e.g. up to 100. According to the restrictions placed on maximum values, e.g. rented pilot wires, the operating levels may have to be so low that problems are experienced in avoiding unwanted operation in the presence of noise.

An external fault may not result in the flow of fault current at all ends of a multi-ended circuit. A relay at an end not feeding fault current would be subject to out-of-balance signals, but would not have the restraining quantity derived from fault current. This may cause unwanted tripping, and in some schemes of protection this problem is overcome by the use of an extra pilot wire circuit which summates signals derived from the fault currents at the various ends and applies the resulting restraining quantity to all ends, as shown in figure 2.36.

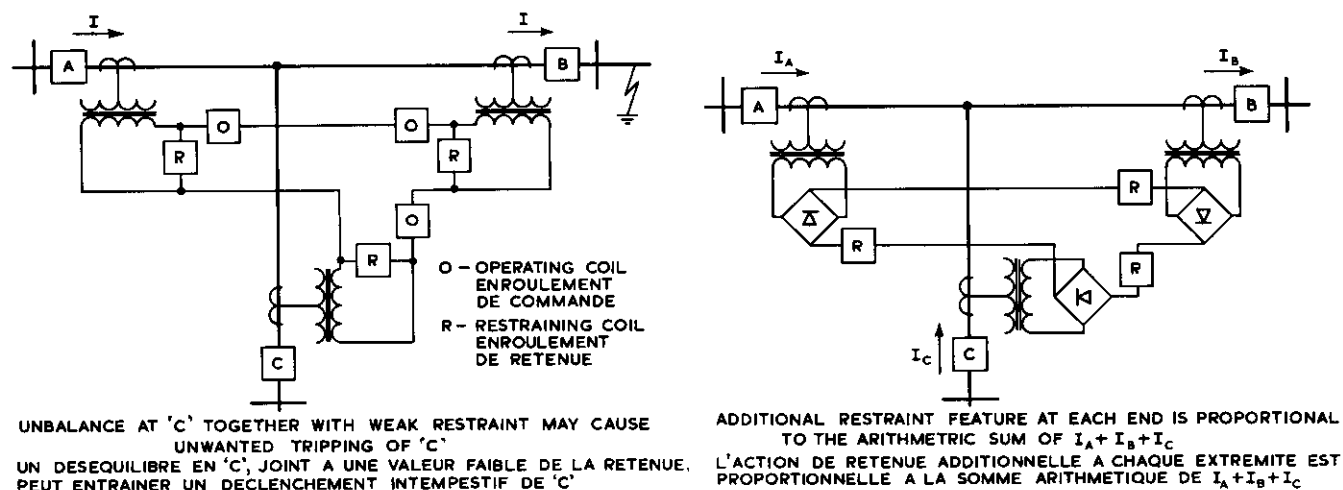


Figure 2.36 - Differential protection for multi-ended circuits

Moderately designed non-linear systems of differential protection are applied in some countries to multi-ended circuits, particularly if the feed of fault current is limited at the tapping points. Such an arrangement reduces the problem of unwanted tripping and avoids the use of an additional pilot wire circuit referred to above.

2.4.4 - Phase Comparison and Direction Comparison

Although it is possible to apply these principles to the protection of multi-ended circuits it is generally difficult and involves some risk of failure to trip on internal faults. Figure 2.37 shows a three-ended circuit with the interchange of information between the three

échange d'information entre ces trois extrémités. Avec une protection à comparaison du sens de la puissance, un courant de défaut "sortant" à l'une des extrémités provoquerait l'envoi d'un ordre de verrouillage vers les deux autres. Il y aurait un risque sérieux si des conditions particulières sur le réseau donnaient lieu à la circulation d'un courant de défaut "sortant" en cas de défaut interne, entraînant ainsi un fonctionnement défaillant. Dans le cas d'une protection à comparaison de phase, il pourrait se poser des problèmes semblables auxquels s'ajouterait la difficulté de combiner des informations quantitatives sur une liaison de téléinformation à trois branches. On estime, de façon générale, que la perte d'information concernant l'amplitude du courant de défaut est un obstacle sérieux à l'application de ce type de protection aux circuits à extrémités multiples.

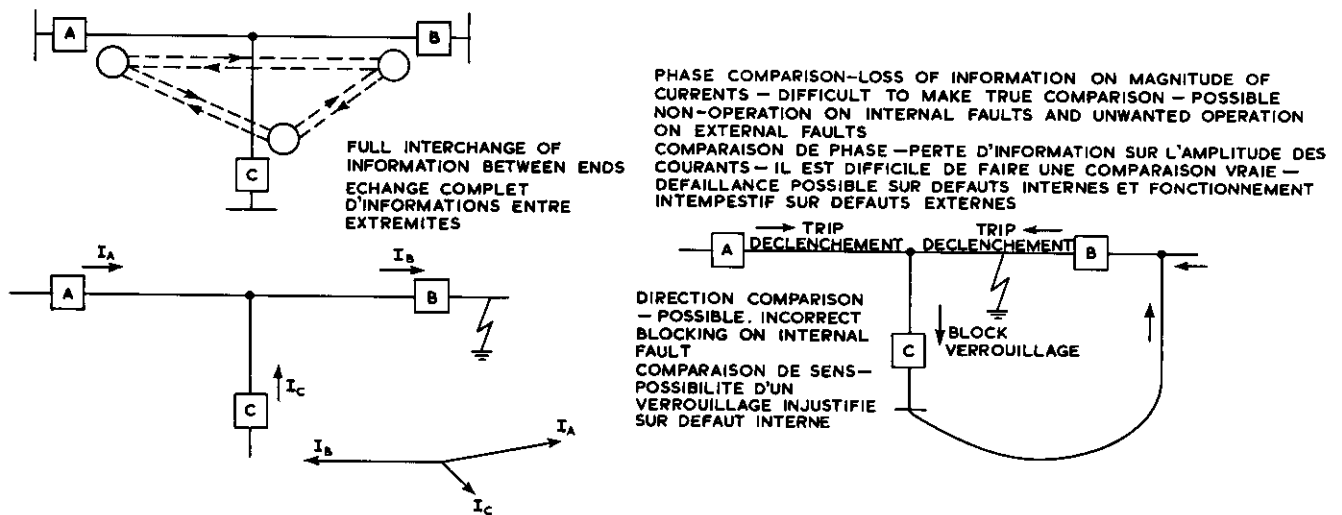


Figure 2.37 - Circuits à extrémités multiples - difficultés présentées par la comparaison de phase et la comparaison de sens

Le problème des relais de mise en route qui seraient nécessaires pour ces types de protection est discuté en 2.4.5 ci-dessous.

2.4.5 - Relais de mise en route

Il en a été discuté à propos des circuits à deux extrémités aux sections 2.2.2 et 2.2.3. Le principe général de relais à seuils haut et bas est également valable pour les circuits à extrémités multiples mais la coordination des valeurs de réglage de ces seuils aux diverses extrémités est plus difficile.

Dans le cas d'un circuit à deux extrémités, les valeurs de réglage pour les relais à seuil bas sont liées aux conditions de réseau telles que le courant de défaut minimal, le courant capacitif, etc... Les valeurs de réglage pour les relais à seuil haut dépendent de celles des relais à seuil bas, des tolérances des relais et de la charge maximale admise. Un rapport de 1,3 à 1,5 entre les valeurs de réglage des seuils haut et bas est courant, afin de s'assurer que :

La liaison de téléinformation est alimentée, par les grandeurs à comparer, à des niveaux compatibles avec une sélectivité correcte.

Dans les conditions marginales de niveau des défauts externes, le circuit de déclenchement, à l'une quelconque des extrémités, n'est préparé que pour une valeur du courant de défaut suffisante pour garantir que les relais à seuil bas à toutes les extrémités ont fonctionné et que la comparaison est effective.

Pour les circuits à extrémités multiples, tels que le circuit à trois extrémités représenté figure 2.38, la distribution des courants sur défaut externe peut être telle que la condition marginale pour fixer la valeur de réglage du relais à réglage bas en liaison avec le relais à réglage haut, corresponde à la moitié du courant total de défaut. Même sans tenir compte des tolérances sur les relais, le rapport minimal entre réglages des relais haut et bas serait de 2. En pratique il serait probablement de 3. Cette difficulté croît avec le nombre d'extrémités, alimentant le défaut, que comporte la zone protégée.

terminals. For direction comparison protection, the "outward" flow of fault current at any terminal would result in a blocking command to the other two terminals. The main risk would be if particular system conditions produced an "outward" flow of current during internal fault conditions and thus caused failure to trip. In the case of phase comparison protection similar problems could exist to which would be added the difficulty of combining the quantitative information over a three-way information link. It can generally be considered that the loss of information concerning the magnitude of the fault current is a serious limitation in multi-ended applications of this type.

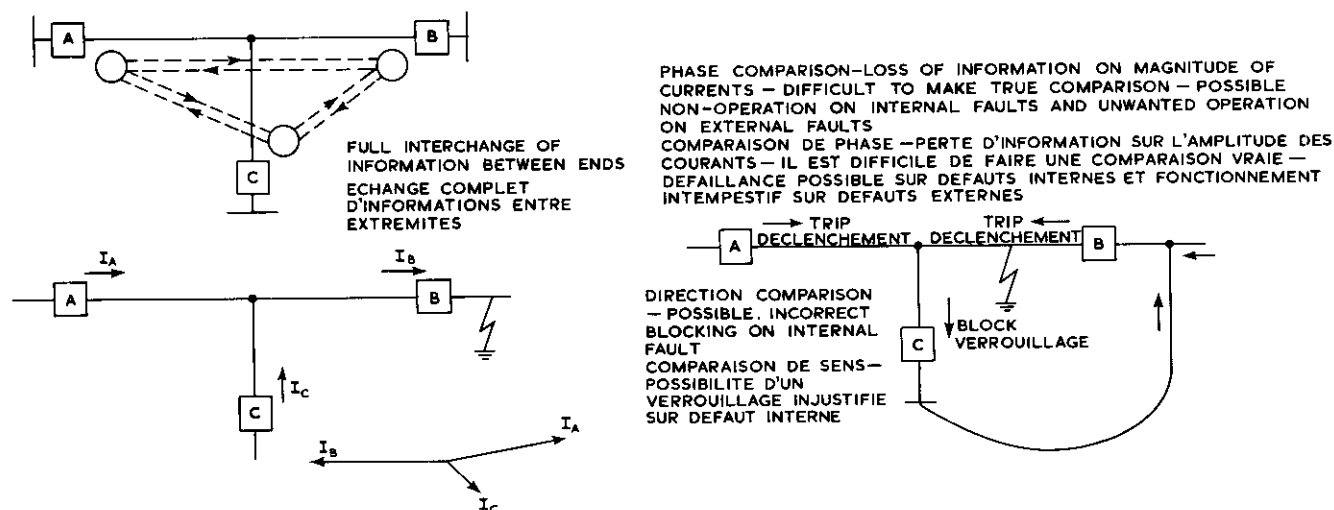


Figure 2.37 - Multi-ended circuits - some difficulties of phase comparison and direction comparison

The problems of starting relays which would be required for these types of protection are discussed in 2.4.5 below.

2.4.5 - Starting relays

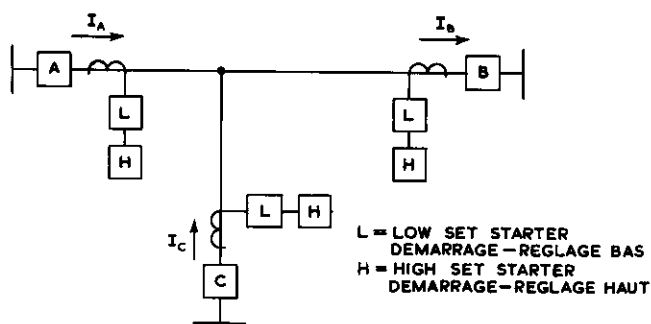
These are discussed in relation to two-ended circuits in Sections 2.2.2 and 2.2.3. The general principles of high set and low set relays are also applicable to multi-ended circuits, but the co-ordination of the high set and low set operating values at the various ends is more difficult.

When applied to a two-ended circuit, the operating values of low set relays are related to power system conditions such as minimum fault current, capacity current, etc. Operating values of high set relays are governed by those of the low set relays, tolerances of practical relays and rated maximum load. Typical ratios of high set to low set operating values are in the range 1.3 to 1.5 and these are intended to ensure that :

The information link is fed with quantities to be compared at levels compatible with correct selectivity.

Under marginal levels of external faults, the tripping circuit at any end is prepared only at a level of fault current sufficient to ensure that the low set relays at both ends have operated and comparison is effective.

With multi-ended circuits, e.g. the three-ended circuit, shown in figure 2.38, the distribution of external fault current may be such that the marginal condition for assessing the operating values of the low set relay in relation to the high set relay may be half the total fault current. Even ignoring the effect of relay tolerances, the minimum ratio between high set and low set relay operating values would be 2.0. In practice, this ratio would probably be 3.0. This problem increases with the number of fault feeding ends contained in the protected zone.



FOR CORRECT STABILISING ON EXTERNAL FAULT. LOW SET RELAY AT AN INFEED AND AT AN OUT-FEED MUST HAVE OPERATED BEFORE A HIGH SET. HIGHEST RATIO BETWEEN THE TOTAL OUT-FEED AND THE MAXIMUM INFEED OCCURS WHEN $I_A = I_C = \frac{1}{2} I_B$

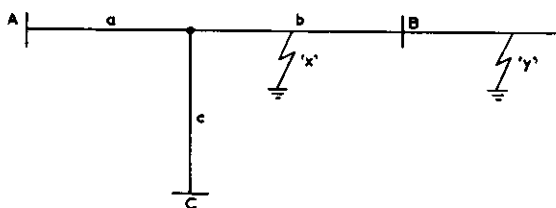
∴ MINIMUM RATIO BETWEEN HIGH SET AND LOW SET RELAYS = 2 (n-1 FOR GENERAL CASE, WHERE 'n' IS THE NUMBER OF ENDS TO THE CIRCUIT)

POUR UN FONCTIONNEMENT CORRECT SUR DEFAUT EXTERNE, LES RELAIS A REGLAGE BAS AUX POINTS D'INJECTION OU DE FOURNITURE DOIVENT AVOIR FONCTIONNE AVANT TOUT RELAIS A REGLAGE HAUT. LE PLUS GRAND RAPPORT ENTRE FOURNITURE GLOBALE ET INJECTION MAXIMALE S'OBTIENT QUAND $I_A = I_C = \frac{1}{2} I_B$

∴ RAPPORT MINIMAL ENTRE REGLAGES HAUT ET BAS DES RELAIS = 2 (n-1 DANS LE CAS GENERAL, OU n EST LE NOMBRE D'EXTREMITES DU CIRCUIT)

Figure 2.38 - Démarrage sur les circuits à extrémités multiples - relais de courant

Des difficultés semblables se rencontrent pour la coordination des relais de mise en route, lorsque l'on emploie des relais de distance sur des extrémités multiples (voir fig. 2.39).



SI $c > b > a$, LE REGLAGE EN DISTANCE DES RELAIS DE DEMARRAGE DOIT ETRE LE SUIVANT: REGLAGE BAS A=L(a+c) REGLAGE HAUT A=H(a+c)
REGLAGE BAS B=L(b+c) REGLAGE HAUT B=H(b+c)
REGLAGE BAS C=L(b+c) REGLAGE HAUT C=H(b+c)

L DOIT ETRE PLUS GRAND QUE 1 POUR ASSURER LE DECLENCHEMENT IMMEDIAT A TOUTES LES EXTREMITES POUR UN DEFAUT VOISIN D'UNE EXTREMITÉ, PAR EXEMPLE 'x' CI-DESSUS, CAR LA PORTEE DU RELAIS A REGLAGE HAUT DE 'A' POURRAIT NE PAS COUVRIR TOUTE L'ARTERE C EN RAISON D'UNE INJECTION EN 'C'. LE RAPPORT H/L DOIT ETRE DE L'ORDRE DE 1,5 POUR QUE LA DISCRIMINATION SOIT CONVENABLE ENTRE RELAIS A REGLAGES HAUT ET BAS. S'IL Y A FOURNITURE DE 'C' SUR UN DEFAUT EXTERNE, EN 'y' PAR EXEMPLE, PRES DE LA LIMITE DE PORTEE DU RELAIS A REGLAGE BAS DE 'B', IL EST POSSIBLE QUE LE RELAIS A REGLAGE HAUT DE 'A' FONCTIONNE, SANS FONCTIONNEMENT DU RELAIS A REGLAGE BAS DE 'B'. LE CALCUL MONTRÉ QUE DANS CES CONDITIONS LE RELAIS A REGLAGE BAS DE 'C' FONCTIONNE ET QUE LE FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE EST CORRECT

IF $c > b > a$ THEN DISTANCE STARTING RELAY SETTINGS MUST BE AS FOLLOWS:—

LOW SET A = L(a+c) HIGH SET A = H(a+c)
LOW SET B = L(b+c) HIGH SET B = H(b+c)
LOW SET C = L(b+c) HIGH SET C = H(b+c)

L MUST BE GREATER THAN 1 IN ORDER TO ENSURE INSTANTANEOUS TRIPPING AT ALL ENDS FOR A FAULT NEAR ONE END, SAY 'x' ABOVE, AS HIGH SET 'A' MAY UNDERREACH INTO THE FEEDER DUE TO INFEED AT 'C'. THE RATIO OF H/L MUST BE OF THE ORDER OF 1.5 TO GIVE ADEQUATE DISCRIMINATION BETWEEN HIGH SET AND LOW SET RELAYS. FOR AN OUT-FEED AT 'C' ON EXTERNAL FAULT, SAY AT 'y' NEAR THE LIMIT OF REACH OF LOW SET 'B', THERE IS POSSIBILITY OF OPERATION OF HIGH SET 'A' WITHOUT OPERATION OF LOW SET 'B'. CALCULATION SHOWS THAT THIS CONDITION IS ACCOMPANIED BY LOW SET OPERATION AT 'C'; THUS ENSURING CORRECT STABILIZING.

Figure 2.39 - Démarrage sur les circuits à extrémités multiples - relais de distance

2.5 - COMBINAISON DE SYSTEMES DE PROTECTION AGISSANT CONJOINTEMENT

La protection complète d'une zone donnée peut exiger des caractéristiques qu'il ne soit pas possible d'obtenir, avec une sécurité suffisante, avec un seul système de protection. Un schéma de protection peut donc comporter plusieurs systèmes de protection agissant conjointement pour réaliser le degré de protection voulu. Il se peut, dans certains cas, que les fonctions des systèmes individuels soient complémentaires alors que dans d'autres elles se recouvrent de façon importante. L'emploi de liaisons de téléinformation, et la prise en considération de leurs caractéristiques et de leur sécurité de fonctionnement ont souvent une grande importance dans ces systèmes combinés de protection. Quelques exemples de combinaison de systèmes de protection sont donnés dans les sections suivantes.

2.5.1 - Protection de distance et protection à comparaison de direction

Le fonctionnement correct des relais de distance en cas de défaut à la terre sur une ligne aérienne peut être difficile à obtenir en raison d'une résistance élevée du trajet du courant de défaut, comme dans le cas indiqué figure 1.14. Ce peut être le cas même pour des

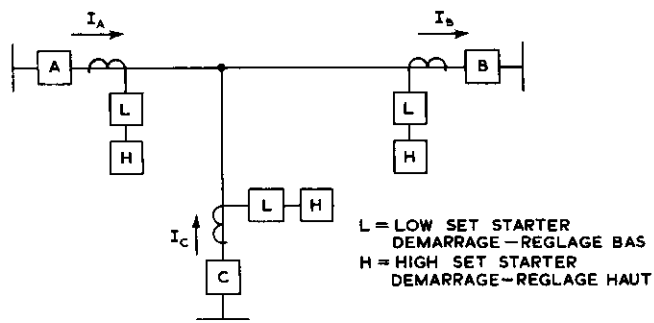
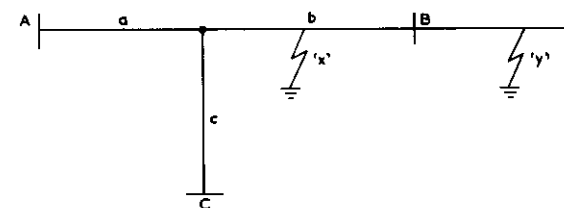


Figure 2.38 - Starting on multi-ended circuits - current operated relays

Similar problems of co-ordinating starting relays are met when distance relays are used for multi-ended circuits, see figure 2.39.



IF $c > b > a$ THEN DISTANCE STARTING RELAY SETTINGS MUST BE AS FOLLOWS:—

LOW SET A = $L(a+c)$	HIGH SET A = $H(a+c)$
LOW SET B = $L(b+c)$	HIGH SET B = $H(b+c)$
LOW SET C = $L(b+c)$	HIGH SET C = $H(b+c)$

L MUST BE GREATER THAN 1 IN ORDER TO ENSURE INSTANTANEOUS TRIPPING AT ALL ENDS FOR A FAULT NEAR ONE END, SAY 'x' ABOVE, AS HIGH SET 'A' MAY UNDERREACH INTO THE FEEDER DUE TO INFEEED AT 'C'. THE RATIO OF H/L MUST BE OF THE ORDER OF 1.5 TO GIVE ADEQUATE DISCRIMINATION BETWEEN HIGH SET AND LOW SET RELAYS. FOR AN OUT-FEED AT 'C' ON EXTERNAL FAULT, SAY AT 'y' NEAR THE LIMIT OF REACH OF LOW SET 'B', THERE IS POSSIBILITY OF OPERATION OF HIGH SET 'A' WITHOUT OPERATION OF LOW SET 'B'. CALCULATION SHOWS THAT THIS CONDITION IS ACCOMPANIED BY LOW SET OPERATION AT 'C', THUS ENSURING CORRECT STABILIZING.

FOR CORRECT STABILISING ON EXTERNAL FAULT. LOW SET RELAY AT AN INFEEED AND AT AN OUT-FEED MUST HAVE OPERATED BEFORE A HIGH SET. HIGHEST RATIO BETWEEN THE TOTAL OUT-FEED AND THE MAXIMUM INFEEED OCCURS WHEN $I_A = I_C = \frac{1}{2} I_B$

∴ MINIMUM RATIO BETWEEN HIGH SET AND LOW SET RELAYS = 2 ($n-1$ FOR GENERAL CASE. WHERE 'n' IS THE NUMBER OF ENDS TO THE CIRCUIT)

POUR UN FONCTIONNEMENT CORRECT SUR DEFAUT EXTERNE, LES RELAIS A REGLAGE BAS AUX POINTS D'INJECTION OU DE FOURNITURE DOIVENT AVOIR FONCTIONNE AVANT TOUT RELAIS A REGLAGE HAUT. LE PLUS GRAND RAPPORT ENTRE FOURNITURE GLOBALE ET INJECTION MAXIMALE S'OBTIENT QUAND $I_A = I_C = \frac{1}{2} I_B$

∴ RAPPORT MINIMAL ENTRE REGLAGES HAUT ET BAS DES RELAIS = 2 ($n-1$ DANS LE CAS GENERAL, OU n EST LE NOMBRE D'EXTREMITES DU CIRCUIT)

SI $c > b > a$, LE REGLAGE EN DISTANCE DES RELAIS DE DEMARRAGE DOIT ETRE LE SUIVANT: REGLAGE BAS A = $L(a+c)$ REGLAGE HAUT A = $H(a+c)$
REGLAGE BAS B = $L(b+c)$ REGLAGE HAUT B = $H(b+c)$
REGLAGE BAS C = $L(b+c)$ REGLAGE HAUT C = $H(b+c)$

L DOIT ETRE PLUS GRAND QUE 1 POUR ASSURER LE DECLENCHEMENT IMMEDIAT A TOUTES LES EXTREMITES POUR UN DEFAUT VOISIN D'UNE EXTREMITÉ, PAR EXEMPLE 'x' CI-DESSUS, CAR LA PORTEE DU RELAIS A REGLAGE HAUT DE 'A' POURRAIT NE PAS COUVRIR TOUTE L'ARTERE C EN RAISON D'UNE INJECTION EN 'C'. LE RAPPORT H/L DOIT ETRE DE L'ORDRE DE 1,5 POUR QUE LA DISCRIMINATION SOIT CONVENABLE ENTRE RELAIS A REGLAGES HAUT ET BAS. S'IL Y A FOURNITURE DE 'C' SUR UN DEFAUT EXTERNE, EN 'y' PAR EXEMPLE, PRES DE LA LIMITE DE PORTEE DU RELAIS A REGLAGE BAS DE 'B', IL EST POSSIBLE QUE LE RELAIS A REGLAGE HAUT DE 'A' FONCTIONNE, SANS FONCTIONNEMENT DU RELAIS A REGLAGE BAS DE 'B'. LE CALCUL MONTRE QUE DANS CES CONDITIONS LE RELAIS A REGLAGE BAS DE 'C' FONCTIONNE ET QUE LE FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE EST CORRECT

Figure 2.39 - Starting on multi-ended circuits - distance relays

2.5 - COMBINATIONS OF PROTECTION SYSTEMS ACTING IN CO-OPERATION

The comprehensive protection of a zone may require characteristics which may not be obtainable with sufficient reliability in one system of protection. A scheme of protection may therefore consist of a number of systems acting in co-operation to achieve the desired degree of protection. In some cases, the individual systems may have basically complementary functions while in other cases the functions of the systems may overlap considerably. The use of information links together with their characteristics and reliability, are often important considerations in such overall schemes of protection. Some examples of combinations of protection systems are given in the following sections.

2.5.1 - Distance Protection with Directional Comparison Protection

The correct operation of distance relays under earth fault conditions on an overhead line may prove difficult due to the high value of resistance in the path of fault current, similar to conditions shown in figure 1.14. Such conditions may apply even to long lengths of line, e.g.

lignes longues, de 100 km ou plus, si l'on emploie des pylônes en bois, si la résistivité du sol est élevée ou s'il n'y a pas de fils de terre. Ce problème ne se pose pas pour les défauts entre phases. Il est donc de pratique courante dans certains pays, d'utiliser un système à comparaison de phase ou à comparaison de direction pour les défauts à la terre et le système conventionnel de protection à caractéristique distance - temps discontinue pour les défauts entre phases. Les difficultés en ce qui concerne les défauts à la terre sont généralement résolues grâce à la sensibilité élevée des protections à comparaison de phase ou de direction. Tout ce qui a été dit plus haut à propos de ces types de protection reste valable. Le schéma global de la protection met donc en œuvre essentiellement une liaison de téléinformation qui, si l'on dispose d'une largeur de bande suffisante, peut permettre l'emploi d'un canal supplémentaire aux fins d'accélération ou de verrouillage, en relation avec la protection de distance pour les défauts entre phases, comme indiqué figure 2.40.

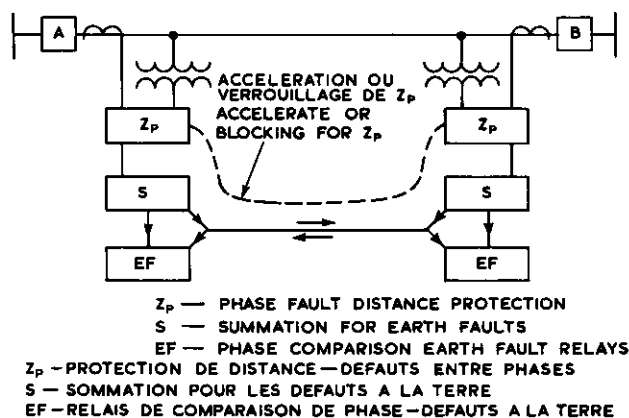


Figure 2.40 - Combinaison de la protection de distance et de la comparaison de phase

2.5.2 - Protection à comparaison de phase et protection à comparaison de direction ou de distance avec verrouillage

Les protections basées sur des relais directionnels ou des relais de distance sont, par nature, sujettes aux déclenchements involontaires (et souvent intempestifs) en cas de rupture de synchronisme, c'est-à-dire de perte de la stabilité du réseau. Les grandeurs appliquées aux relais sont, dans certains cas, semblables à celles qui apparaissent en cas de défaut triphasé interne. Des relais de distance spéciaux (anti-pompage) peuvent être utilisés pour éviter le fonctionnement intempestif, mais ils sortent du domaine de ce rapport.

Une autre solution, adoptée dans certains pays, consiste à employer une protection à comparaison de phase, qui est insensible à la marche hors synchronisme puisqu'elle ne tient compte que des courants. Comme indiqué à la section 2.2.3, il est parfois difficile d'obtenir une sensibilité telle qu'elle assure le fonctionnement aux niveaux limites sur défaut interne tout en garantissant le non - fonctionnement sur défauts externes. Les deux systèmes de protection sont donc combinés comme indiqué figure 2.41, la comparaison de phase assurant le déclenchement sur défauts internes et la protection de distance à verrouillage (ou à comparaison de direction) empêchant le fonctionnement sur défauts externes. On évite ainsi les déclenchements intempestifs en cas de rupture de synchronisme.

2.5.3 - Système "Echo" (Japon)

Ce système de protection, représenté figure 2.42, est spécialement conçu pour assurer la déconnexion totale d'une ligne affectée d'un défaut interne lorsqu'il ne circule que peu ou pas de courant de défaut à l'une de ses extrémités. Il est basé sur la comparaison de direction et utilise des relais directionnels pour les défauts à la terre, et des relais de distance directionnels pour les défauts entre phases. Les relais de mise en route ont des éléments directionnels de courant et des éléments commandés par la tension, ces derniers prenant en compte les cas où le défaut n'est pas alimenté.

100 km or more, for example, if wood poles are used, ground resistivity is high, or ground wires are not provided. The same problems do not occur under conditions of phase faults. In such cases, it is common practice in some countries to use a phase comparison or direction comparison system for earth faults and conventional stepped distance-time protection for phase faults. The difficult conditions for earth faults can usually be satisfied by the high sensitivities obtainable with phase comparison or direction comparison protection. The comments previously made in respect of these forms of protection apply. The overall scheme of protection thus involves the essential use of an information link which, provided sufficient bandwidth is available, could provide an additional channel for an acceleration or blocking feature for use with the phase fault distance protection as shown in figure 2.40.

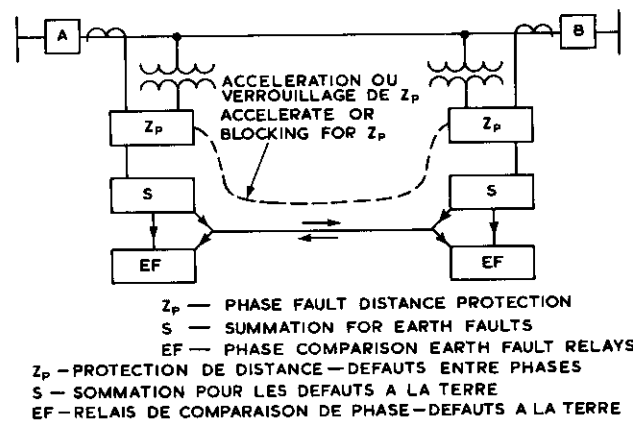


Figure 2.40 - Combination of distance protection and phase comparison

2.5.2 - Phase Comparison Protection with Direction Comparison or Distance Blocking Protection

Protection based on directional relays or distance relays is inherently susceptible to uncontrolled (and often unwanted) tripping during out-of-step conditions, i.e. loss of stability on the power system. The quantities impressed on the relays will, in certain circumstances, be similar to those occurring on an internal three phase fault. Special distance relays (out-of-step blocking) may be fitted to prevent such operation, but these are outside the scope of this report.

Another method of overcoming this problem, adopted in some countries is to use a phase comparison protection, which does not respond to out-of-step conditions because it takes account of currents only. As pointed out in Section 2.2.3, it is sometimes difficult to provide sufficient sensitivity for operation at marginal levels of internal fault and yet preserve non-operation on external faults. The two systems of protection are therefore combined as shown in figure 2.41, the phase comparison providing the tripping action on internal faults and the distance blocking (or direction comparison) preventing operation on external faults. Unwanted tripping on out-of-step conditions is thus avoided.

2.5.3 - "Echo" System (Japan)

This scheme of protection, shown in figure 2.42, is especially designed to ensure complete isolation of a line under internal fault conditions in which little or no fault current flows at one of the ends. It is based on directional comparison and uses directional relays for ground faults and directional distance relays for phase faults. The starting relays include directional current elements and voltage-operated elements, the latter catering for the condition when there is no fault feed.

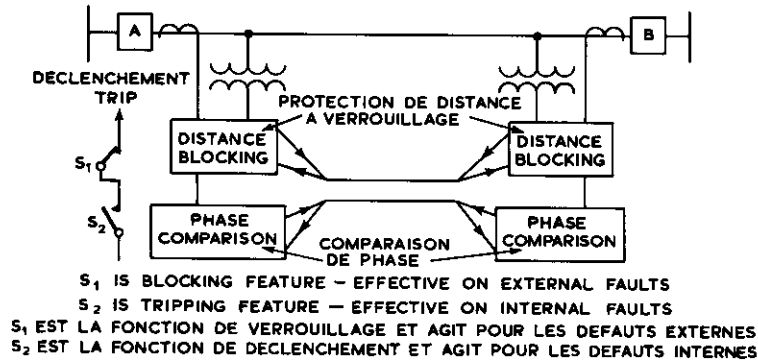
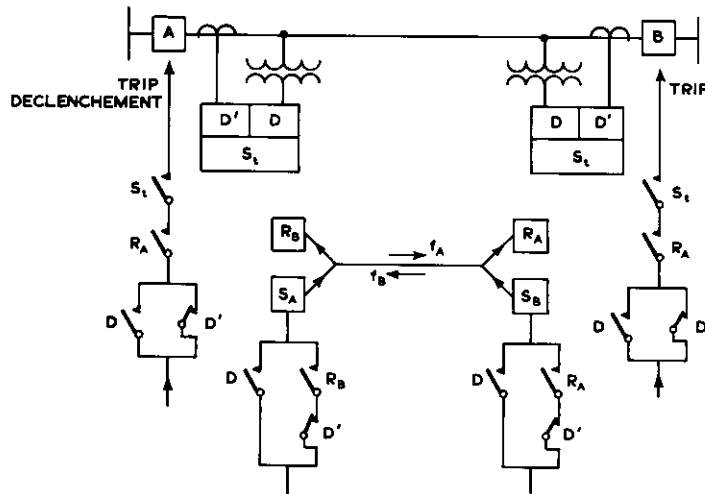


Figure 2.41 - Protection à comparaison de phase avec adjonction d'une fonction de verrouillage



- S_t - STARTING RELAY
- D - DIRECTIONAL RELAY FOR THE POWER FLOW FROM BUS TO LINE
- D' - DIRECTIONAL RELAY FOR THE OTHER POWER FLOW FROM LINE TO BUS
- S_A - SENDER AT STATION A (ITS FREQUENCY: f_A)
- S_B - SENDER AT STATION B (ITS FREQUENCY: f_B)
- R_A - RECEIVER AT STATION B (OPERATING BY f_A)
- R_B - RECEIVER AT STATION A (OPERATING BY f_B)
- S_t - RELAIS DE DEMARRAGE
- D - RELAIS DIRECTIONNEL - PUISSANCE DES BARRES VERS LA LIGNE
- D' - RELAIS DIRECTIONNEL - PUISSANCE DE LA LIGNE VERS LES BARRES
- S_A - EMETTEUR DU POSTE A (FREQUENCE: f_A)
- S_B - EMETTEUR DU POSTE B (FREQUENCE: f_B)
- R_A - RECEPTEUR DU POSTE A (REGLE SUR f_A)
- R_B - RECEPTEUR DU POSTE B (REGLE SUR f_B)

Figure 2.42 - Protection "Echo"

La disposition indiquée fait usage de fréquences distinctes pour chaque sens de transmission et utilise des ordres de déclenchement d'une façon analogue à celle employée dans le déclenchement conditionnel avec dépassement (voir section 2.3.2.4.). Pour un défaut interne alimenté par les deux extrémités, chacune envoie à l'autre un ordre de déclenchement qui assure le déclenchement en liaison avec les relais directionnels constatant le flux "entrant" de courant de défaut. Pour un défaut interne alimenté par une seule extrémité, l'ordre de déclenchement est envoyé à l'autre extrémité où il est exécuté en liaison avec les relais de mise en route sensibles à la tension. Le déclenchement provoque alors l'envoi d'un ordre de déclenchement à l'extrémité par laquelle le défaut est alimenté, ce qui assure l'élimination complète du défaut. Pour les défauts externes, les relais directionnels détectent un flux "sortant" de courant de défaut et verrouillent le déclenchement. Les liaisons de téléinformation employées dans ce type de protection doivent être rapides et sûres, en application des remarques faites en 2.3.2.4.

Il a été fait état d'une autre version de ce système utilisant la liaison pour la transmission d'un ordre de verrouillage.

Il semble que ce système soit très souple et convienne dans les conditions de réseau les plus difficiles, y compris le cas de circuits à extrémités multiples.

2.5.4 - Emploi de deux systèmes de protection principale

On peut appliquer, à des circuits importants d'un réseau, deux systèmes de protection principale agissant indépendamment, en vue d'accroître la sécurité de déclenchement sur dé-

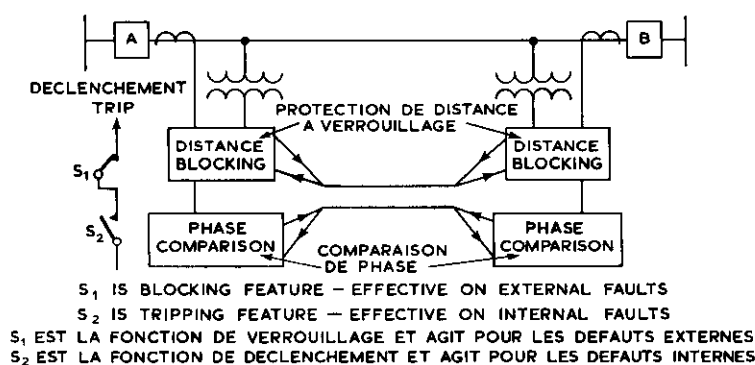
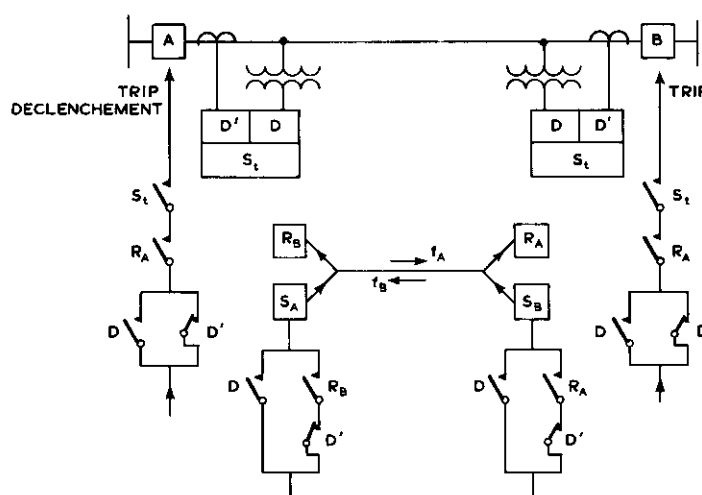


Figure 2.41 - Phase comparison protection with addition of blocking feature



- | | |
|---|---|
| S_t - STARTING RELAY
D - DIRECTIONAL RELAY FOR THE POWER FLOW FROM BUS TO LINE
D' - DIRECTIONAL RELAY FOR THE OTHER POWER FLOW FROM LINE TO BUS
S_A - SENDER AT STATION A (ITS FREQUENCY: f_A)
S_B - SENDER AT STATION B (ITS FREQUENCY: f_B)
R_A - RECEIVER AT STATION B (OPERATING BY f_A)
R_B - RECEIVER AT STATION A (OPERATING BY f_B) | S_t - RELAIS DE DEMARRAGE
D - RELAIS DIRECTIONNEL - PUISSANCE DES BARRES VERS LA LIGNE
D' - RELAIS DIRECTIONNEL - PUISSANCE DE LA LIGNE VERS LES BARRES
S_A - EMETTEUR DU POSTE A (FREQUENCE: f_A)
S_B - EMETTEUR DU POSTE B (FREQUENCE: f_B)
R_A - RECEPTEUR DU POSTE A (REGLE SUR f_A)
R_B - RECEPTEUR DU POSTE B (REGLE SUR f_B) |
|---|---|

Figure 2.42 - Echo protection

The arrangement shown uses separate frequencies for each direction of transmission and is based on tripping commands in a manner similar to permissive overreaching (see Section 2.3.2.4). For an internal fault fed from both ends, each end will send a tripping command to the other, which will effect tripping in conjunction with the directional relays detecting the "inward" flow of fault current. For an internal fault fed from one end only, the tripping command will be sent to the remote end where it will effect tripping in conjunction with the voltage-operated starting relay. The tripping of the remote end then initiates a tripping command to the feeding end and completes the isolation of the fault. On external faults, the directional relays detect the outward flow of fault current and prevent tripping. The information links used for this type of scheme need to be fast and reliable, the remarks in Section 2.3.2.4 being applicable.

Another version of this scheme based on the use of the information link to transmit a blocking command has been reported.

The arrangements are reported to be very flexible and suitable for difficult power system conditions, including multi-ended circuits.

2.5.4 - The Use of Two Systems of Main Protection

Two independently acting systems of main protection may be applied to important circuits in a transmission network, to increase reliability of tripping on internal faults. The

fautes internes. Les caractéristiques de ces deux systèmes se recouvrent dans une grande proportion, ce qui entraîne le doublement de la fonction de déclenchement. Ceci permet d'admettre la défaillance d'un des systèmes sans que le déclenchement soit défaillant sur défauts internes. Les défaillances éventuelles d'un des systèmes peuvent intéresser le matériel de protection et la liaison de téléinformation, en particulier lorsque celle-ci doit transmettre un ordre de déclenchement. Un fonctionnement défaillant au déclenchement peut également se produire dans des conditions difficiles ou marginales et dans ce cas les possibilités différentes des deux systèmes peuvent être mises à profit.

Puisque les deux systèmes sont employés indépendamment, la sécurité de fonctionnement globale sur défauts externes (déclenchement intempestif) est diminuée. Le choix des systèmes de protection, le type des liaisons de téléinformation et la façon dont elles sont utilisées influent à la fois sur l'accroissement de sécurité sur défauts internes et sur la diminution de sécurité sur défauts externes. Dans la mise en œuvre de tels systèmes, il convient de tenir compte des points suivants :

- Il est souhaitable que les deux systèmes de protection reposent sur des principes différents et que leurs possibilités de réponse à différentes sortes de conditions difficiles soient complémentaires.
- Les liaisons de téléinformation devraient être utilisées de telle sorte que leur défaillance, en cas de défaut interne, ait une incidence minimale sur le déclenchement correct.
- Les liaisons de téléinformation devraient être utilisées de telle sorte que l'influence néfaste due à une sécurité de fonctionnement réduite sur défauts externes soit minimale.
- Il est souhaitable que les liaisons de téléinformation des deux systèmes soient d'un type différent pour qu'elles ne soient pas affectées par les mêmes types de défaillance, de perturbations ou de bruit.

Toutes ces exigences ne peuvent pas être satisfaites simultanément et il est en général nécessaire de trouver un compromis qui tienne compte de leur importance relative en fonction de l'application particulière traitée. La figure 2.43 montre deux exemples typiques de ces systèmes de protection combinés, utilisant des fils pilotes et des courants porteurs sur ligne. L'un de ceux-ci pourrait d'ailleurs être remplacé par une liaison radio. Des fils pilotes en location, empruntant des itinéraires différents, pourraient répondre au problème dans certains cas.

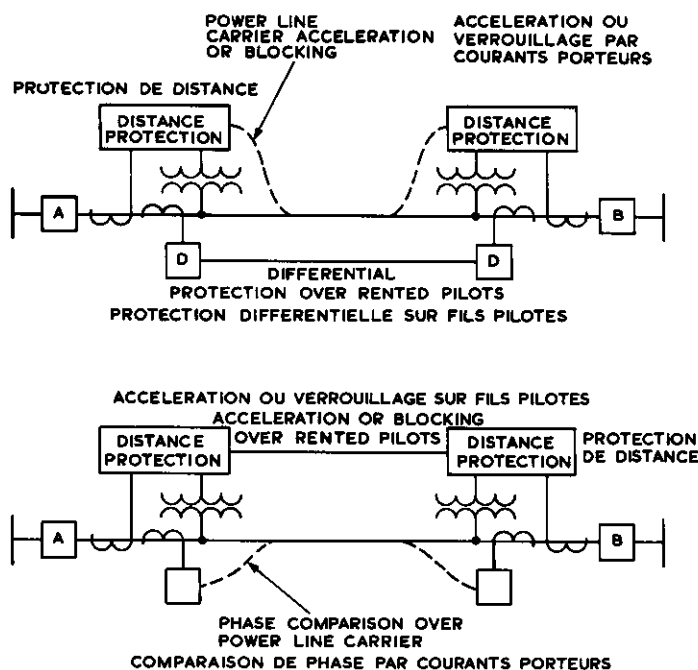


Figure 2.43 - Exemples de doublement des protections

characteristics of such systems will overlap considerably with consequent duplication of the tripping function. This permits the failure of one system without loss of tripping on internal faults. Failures of this type could include both the protection equipment and the information link, particularly when this is used to convey a tripping command. Failure to trip may also occur under difficult or marginal conditions of fault, and in this respect, the different capabilities of the two systems can be used to advantage.

Because the two systems are used independently, the overall reliability on external faults i. e. unwanted tripping, is reduced. The choice of protection systems, the types of information links and the ways in which they are used affect both the increased reliability on internal faults and the reduced reliability on external faults. In applying such systems, the following points should be borne in mind :

- (a) The two protection systems should preferably have different basic principles with complementary abilities to deal with different types of difficult conditions.
- (b) The information links should preferably be used so that their failure on internal faults has a minimum effect on correct tripping.
- (c) The information links should preferably be used so that the degradation of reduced reliability on external faults is kept to a minimum.
- (d) The information links for the two systems should preferably be of different types so that they are not both subject to the same types of failure, interference and noise.

It is not possible to satisfy all the above requirements and it is generally necessary to compromise according to the importance of the various requirements in relation to particular applications. Figure 2.43 shows two typical examples of this type of combined protection system using pilot wires and power line carrier. The same principles could be used with a radio link in place of either the pilot wires or the power line carrier. Rented pilot wires over different routes could possibly satisfy the requirements in some cases.

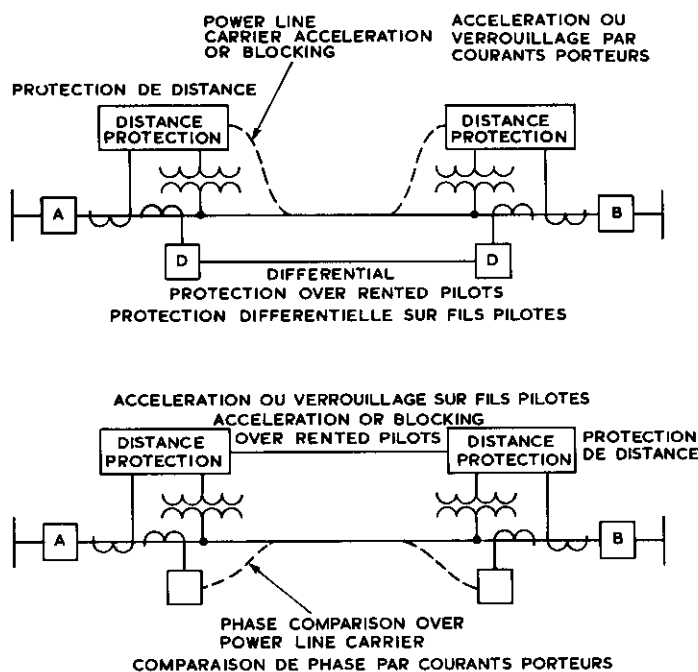


Figure 2.43 - Examples of duplicate protection

La justification de l'emploi de deux systèmes de protection principale dépend de l'importance du circuit protégé en liaison avec la sécurité de fonctionnement que procurerait un seul système de protection. Pourvu que l'on soit conscient de la diminution de la sécurité sur défauts externes, il peut être plus économique d'assurer une sécurité plus grande sur défauts internes au moyen de deux systèmes de protection plutôt qu'avec un seul système conçu pour donner cette sécurité plus grande. Comme la sécurité globale implique celle des appareils annexes, tels que transformateurs de courant ou de tension, alimentations continues, bobines de déclenchement, etc..., le doublement de certains de ceux-ci, ou de tous, à l'occasion de l'emploi de deux systèmes de protection, présente des avantages.

Pour augmenter encore la sécurité de fonctionnement, aussi bien sur défauts internes qu'externes, il faudrait tenir compte d'une façon logique et plus complète des fonctions de sortie de plusieurs systèmes de protection (par exemple décisions du genre "deux parmi trois"). (voir annexe A2).

TABLE NO. 3-8

TYPICAL AERIAL CHARACTERISTICS (See also figure 3.24)

Name of Aerial	Fig. Ref.	l (λ)	b (λ)	Usual Frequency Range	Polarisation	Vertical Beamwidth Degrees	Horizontal Beamwidth Degrees	Gain dB	Remarks
Rhombic	(a)	6-24	2-8	H. F.	Horizontal	50-20	18-8	14-19	Very wide bandwidth
Inverted Vee	(b)	6-24	1-4	H. F.	Vertical	18-8	50-20	11-16	Together with its reflection in earth is a rhombic aerial
Half-wave dipole	(c)	0.5		All frequency ranges	Horizontal	Non-directional	2 × 90	2	Medium bandwidth
Folded dipole	(d)	0.5	0.1	All frequency ranges	Horizontal	Non-directional	2 × 90	2	Better impedance characteristics than ordinary dipole
Coaxial dipole	(e)	0.5		V. H. F. U. H. F.	Vertical	90	Non-directional	2	Medium bandwidth
Yagi aerial (6 element)	(f)	1	0.5	V. H. F. U. H. F.	Horizontal	50	50	10	Narrow bandwidth
Helical aerial	(g)	1-10	1	U. H. F.	Circular	60-15	60-15	10-20	Wide bandwidth
Corner reflector and dipole	(h)	1.5	1	U. H. F.	Vertical	40	60	10	Medium bandwidth - good back to front ratio
Waveguide Horn	(i)	1	1	S. H. F.	Vertical	60	70	8	Often used to energise paraboloidal reflector below
Paraboloidal Aerial (Dish)	(j)	2-100		S. H. F.	Vertical	30-0.5	30-0.5	12-48	Can be made more directional but is then difficult to hold with enough rigidity.

(c) Bandwidths

For all point-to-point systems in the V. H. F., U. H. F. and S. H. F. band types of equipment exist providing different usable bandwidths.

The most common types have a usable bandwidth of 3.5 - 4 kHz which corresponds to a speech channel 300 - 3500 Hz or a "voice plus" channel (i.e. a speech channel of reduced bandwidth 300 - 2400 Hz plus one or some narrow band channels for telemetering, remote control etc. in the range of 2500 - 3500 Hz).

Special broadband types may have usable bandwidths of 12 - 20 kHz and more, and are mainly used for music transmission, transmission of several speech channels plus signalling channels, data transmission, etc.

Owing to the bandwidth, very high signalling speeds are attainable.

It has to be noted, that the bandwidth covered in the radio frequency spectrum is usually more than the usable bandwidth and depends on the modulation method. (= 2 x usable bandwidth for DSB, 2 x usable bandwidth for FM).

The use of broadband equipment is generally subject to special permission by PTT authorities. In the case of S. H. F. systems information channel bandwidths of several MHz are common.

3.4.5 - Interference and Noise

Interference and noise varies with frequency, man-made interference, i.e. ignition and power line noise extends up to about 1000 MHz.

Depending on the local situation and the antenna gain, V. H. F. and sometimes U. H. F. point-to-point channels may be affected by this interference. (The effect of sporadic cross-talk are dealt with in 3.4.6 below).

The noise level in an S. H. F. system is the fundamental thermal noise generated in the input circuits. Interference with other circuits in the S. H. F. range is practically unknown for fixed installations, (excepting mobile search-type radar equipment and unwanted side lobe radiation from nearby antenna systems).

3. - SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Différents types de systèmes de téléinformation ont été décrits dans la Section 2, en fonction de leur principe de fonctionnement, du type de l'information transmise, du type des liaisons de téléinformation utilisées et des caractéristiques de ces dernières ayant une incidence sur la conception et le fonctionnement. La Section 3 ci-dessous traite de façon plus détaillée des caractéristiques des différents types de liaisons de téléinformation du point de vue des télécommunications, et en particulier prend en considération certaines de leurs possibilités et de leurs limitations.

Du point de vue des télécommunications, la fréquence des signaux transmis a une importance fondamentale et est utilisée pour classer les liaisons de téléinformation utilisées pour la protection comme indiqué au tableau 3-1. Les parties suivantes de cette section du rapport traitent de ces catégories en considérant les points suivants :

- (a) Méthode de signalisation
- (b) Type du système de télécommunications
 - distance à laquelle il est adapté
 - temps de transmission
 - largeurs de bande courantes
- (c) Perturbations et bruit
- (d) Sécurité de fonctionnement
- (e) Règlements limitatifs.

Certains aspects des points ci-dessus ont une importance commune lorsque les liaisons de téléinformation sont utilisées pour la téléprotection. Ils sont discutés dans la Section 3.1 ci-dessous.

3.1 - CONSIDERATIONS GÉNÉRALES

3.1.1 - Coordination des exigences concernant la sécurité de fonctionnement des équipements de protection et des liaisons de téléinformation

Comme indiqué à la Section 1.2 et à la figure 1.1 les interrelations fonctionnelles entre les grandeurs du réseau d'énergie, le matériel de protection, la liaison de téléinformation assurée par le réseau de télécommunications et le disjoncteur (qui à son tour a une action sur les grandeurs du réseau d'énergie) peuvent être figurées sous forme d'une boucle fermée, dont le gain en puissance est couramment de 10^{10} ou 100 dB = 11,5 Np.

Au sens le plus large, un système de protection est pourvu de moyens pour extraire l'information locale au point de raccordement, de moyens pour prendre en compte cette information et, dans le cas de téléprotection, pour transmettre ou recevoir de l'information par la liaison de téléinformation. En conclusion de tout cela, des décisions sont prises, par exemple de déclencher un disjoncteur, et ceci est le dernier stade de la fermeture de la boucle. Dans le cas de réenclenchement, le cycle des opérations peut se répéter. Le temps total depuis l'apparition du défaut jusqu'à son élimination, c'est-à-dire le temps total de la boucle, peut être de l'ordre de 100 ms et le temps pris par la transmission de l'information n'est pas négligeable et a donc son importance.

3. – TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Various types of teleprotection systems have been described in Section 2 in terms of their principles of operation, the type of information transmitted, the types of information links used, and the characteristics of the latter which affect design and functioning. The following Section 3 deals with the more detailed characteristics of the various types of information links from a telecommunication point of view and, in particular, considers some of their capabilities and limitations.

In a telecommunication sense, the frequency of the signals transmitted is of fundamental importance and it is useful to classify the information links used for protection on this basis, as shown in Table 3-1. Subsequent parts of this section of the report deal with these categories giving consideration to the following points :

- (a) The method of signalling.
- (b) The type of telecommunication system and its properties such as :
 - the distance for which it is suited,
 - the transmission time,
 - typical bandwidths.
- (c) Interference and noise.
- (d) Reliability.
- (e) Restricting regulations.

Some aspects of the above have common significance when information links are used for teleprotection and these are discussed in Section 3.1 below.

3.1 - GENERAL CONSIDERATIONS

3.1.1 - Co-ordination of Reliability Requirements of Protective Equipment and Information Links

As shown in Section 1.2 and figure 1.1, the functional interrelationship between the power system quantities, the protection apparatus, the information link provided by the telecommunication system and the circuit-breaker (which in turn influences the power system quantities) is in the form of a closed loop, having a power gain typically of 10^{10} or 100 dB = 11.5 Np.

In the broadest sense, a protection system is provided with means for deriving local information relating to the relaying point, means for assessing this information and in the case of teleprotection, of transmitting and/or receiving information via the information link. As a result of this, decisions are made, e.g. to trip a circuit-breaker, and this is the final stage of closing the loop. In the case of auto-reclosing, this cycle of events may be repeated. The total time from initiation of the fault to its final clearance, i.e. the overall loop time, may be of the order of 100 ms and the times taken for transmission of information are significant and thus important.

TABLEAU N° 3 - 1

SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS EMPLOYES POUR LA PROTECTION

Méthode de transmission Spectre de fréquence (spectre d'emploi courant entre parenthèses)	Lignes aériennes	Câbles de signalisation aériens sur supports séparés	Câbles de signalisation aériens sur ligne d'énergie	Câbles de signalisation dans le câble de terre	Câbles de signalisation souterrains	Câbles d'énergie souterrains	Conducteurs de la ligne d'énergie	Câble de terre isolé	Ligne à conduction de surface. Ligne G	Antennes directionnelles. Transmission point à point
Courant continu	X	X	X	X	X					
Fréquence industrielle	X	X	X	X	X					
Fréquence musicale (300 Hz - 10 kHz)	X	X	X	X	X					
Fréquence porteuse (1) (10 kHz - 500 kHz)	X	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X	X		
Haute fréquence (1) (radio)										
HF (1-30 MHz)		X ⁽³⁾	X ⁽³⁾		X ⁽³⁾					X
VHF (30-300 MHz)									X	X
UHF (300-3000 MHz)									X	X
SHF (3-30 GHz) (micro-ondes)										X

Remarques sur le type de circuit

- 1 - Transmission sur porteuse ou haute fréquence par modulation directe ou avec porteuses intermédiaires à fréquence musicale
- 2 - Seulement à distance relativement courte, sans amplificateurs intermédiaires
- 3 - Seulement avec des câbles de signalisation du type coaxial.

La sécurité de fonctionnement globale d'un tel système en boucle fermée dépend des propriétés de tous les éléments de la boucle, qui peuvent avoir des caractéristiques très différentes. Il est généralement admis qu'aucune conception pratique d'un système technique ne peut assurer une sécurité de fonctionnement de 100 %. La sécurité de fonctionnement globale ne peut être meilleure que celle de l'un quelconque des composants individuels. Etant donné que le disjoncteur lui-même est un élément très grand, complexe et coûteux, on considère en général que la sécurité de fonctionnement de la protection (y compris sa liaison de téléinformation) devrait de préférence être meilleure, à l'ordre supérieur, que celle du disjoncteur de sorte que la sécurité de fonctionnement globale soit voisine de celle du disjoncteur lui-même. La sécurité de fonctionnement ainsi requise pour les liaisons de téléinformation utilisées pour la protection doit en conséquence être nettement supérieure à celle normalement exigée pour les télécommunications. Certains aspects de base de la sécurité de fonctionnement sont traités dans la Section 3.1.1.2 et dans l'annexe A2. Un exposé plus détaillé est fait dans la Section 2 en ce qui concerne les types particuliers de protection, et dans la Section 3 en relation avec les différents types de liaisons de téléinformation.

TABLE No. 3-1

TELECOMMUNICATION SYSTEMS USED FOR PROTECTION

Signal transmission method Frequency spectrum (currently used spectrum indicated in brackets)	Overhead open wire	Overhead signalling cables on separate poles	Overhead signalling cables on power lines	Earth wire signalling cables	Underground signalling cables	Underground power cables	Power line conductors	Insulated earth wire of power line	Guided surface wave line "G-line"	Directional aerials point-to-point transmission
Direct current	X	X	X	X	X					
Power frequency	X	X	X	X	X					
Audio frequency (300 Hz - 10 kHz)	X	X	X	X	X					
Carrier frequency ⁽¹⁾ (10 kHz - 500 kHz)	X	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X	X		
High frequency ⁽¹⁾ (radio)										
HF (1-30 MHz)		X ⁽³⁾	X ⁽³⁾		X ⁽³⁾					X
VHF (30-300 MHz)									X	X
UHF (300-3000 MHz)									X	X
SHF (3-30 GHz) (microwave)										X

Remarks on type of circuit

- 1 - Carrier and high frequency transmission by direct keying or by using voice frequencies as intermediate carriers.
- 2 - Only for relatively short distances without intermediate amplifiers.
- 3 - Only by using co-axial type signalling cables.

The overall reliability of such a closed loop system depends on the properties of all the devices included within the loop and these may be of widely differing characteristics. It is generally agreed that no practical concept of a technical system can guarantee 100 percent reliability. The overall reliability can be no better than that of any of the individual components. Since the circuit-breaker itself is a very large, complex and expensive item it is generally considered necessary that the reliability of the protection (including its information link) should preferably be an order of magnitude better than the circuit-breaker, so that the overall reliability approaches that of the circuit-breaker itself. The reliability thus required for information links used for protection purposes must therefore be significantly higher than that normally required for telecommunication purposes. Some basic aspects of reliability are covered in Section 3.1.1.2 and in Appendix A2. More detailed references are made in Section 2 in relation to specific types of protection and in Section 3 in relation to different types of information link.

3.1.1.1 - Influence des perturbations sur la sécurité de fonctionnement

Les installations pratiques de protection et les systèmes de télécommunications qui leur sont associés présentent une certaine probabilité de défaillance qui peut être réduite par une conception, une fabrication, des essais et une maintenance soignés mais ne peut jamais être réduite à zéro.

La sécurité de fonctionnement d'un système de protection dépend non seulement de la qualité de la conception et de la réalisation de l'équipement, mais également de la sécurité de fonctionnement de la transmission et de la réception globales de l'information et de la façon dont celles-ci sont affectées par l'existence de perturbations. Dans certains systèmes de protection la présence de perturbations a une influence importante même lorsqu'il n'y a pas de transmission et de réception actives de l'information.

En plus des causes classiques de défaillance (c'est-à-dire les défauts du matériel ou les interventions intempestives) d'autres problèmes se présentent qui sont dus à l'emploi de l'équipement à proximité du réseau d'énergie. Les principales sources des perturbations de ce genre, qui peuvent se manifester dans l'équipement placé dans un poste ou sur le système de télécommunications lui-même sont énumérées sous les catégories "A" et "B" ci-dessous.

La catégorie "A" se rapporte aux conditions rencontrées en fonctionnement normal alors que la catégorie "B" traite de celles découlant d'un défaut sur le réseau d'énergie et de son élimination.

Selon la conception du système de protection et de la liaison de téléinformation associée, les perturbations peuvent, à des degrés divers, empêcher ou retarder le fonctionnement souhaité ou provoquer un fonctionnement intempestif, ou les deux. (Voir Section 2).

Catégorie "A"

(a) Effet couronne

Le niveau de bruit dû à cette cause dépend de la tension et de la conception du réseau d'énergie, des conditions climatiques et du type de liaison de téléinformation employé. La présence d'effet couronne ne constitue pas en général un problème pour la protection sauf peut-être dans certains cas de courants porteurs sur des lignes à 220 kV et au-dessus lorsque le niveau du signal est faible, c'est-à-dire pour moins d'1 watt émis.

Les valeurs courantes du bruit rencontré dans la technique des courants porteurs et dû à l'effet couronne dépendent dans une certaine mesure de l'altitude, du climat, de l'isolement, de la tension du réseau, de l'âge et du type de construction de la ligne d'énergie. Des chiffres de - 8 dBm dans une bande de 5 kHz pour une ligne à 380 kV et pour des conditions climatiques propices ont été cités.

(b) Fonctionnement de sectionneurs

Des manoeuvres normales mettant en oeuvre des sectionneurs lents se produisent fréquemment. La perturbation produite est caractérisée par une amplitude élevée et une durée relativement longue c'est-à-dire de 0,5 à 8 secondes selon le type du sectionneur. La faible ionisation de l'arc a pour conséquence des réamorçages répétés (aussi bien à l'ouverture qu'à la fermeture) qui produisent des trains d'oscillations à haute fréquence d'amplitude élevée sur toute la superficie du poste. Ces oscillations peuvent être couplées à de nombreux équipements du poste de diverses façons, par exemple par couplage direct, par induction ou par le réseau commun de mise à la terre.

Le fonctionnement d'un sectionneur a pour effet de produire d'intenses bouffées de courants à haute fréquence. La fréquence de répétition de ces bouffées est de l'ordre de 1 kHz ou plus et les composantes à haute fréquence se trouvent couramment dans une gamme s'étendant jusqu'à plusieurs MHz. De tels courants constituent une source de bruit de haute énergie et à large bande qui entraîne un mauvais rapport signal/bruit dans les récepteurs à bande étroite. La dégradation du rapport signal/bruit dépend beaucoup de la forme du couplage et des caractéristiques de l'équipement.

Lorsqu'un sectionneur directement associé à un couplage à courants porteurs, et dans le même poste, est manoeuvré, il produit des bouffées de bruit récurrentes à l'extrémité du câble coaxial 75 ohms pouvant atteindre + 55 dBm (155 volts efficaces) dans une bande de 10 MHz. On peut y relever des pointes atteignant 1 kV.

3.1.1.1 - The Influence of Interference on Reliability

Practical installations of protection and their associated telecommunication systems are subject to some probability of failure which can be reduced by careful design, manufacture, testing and maintenance but can never be eliminated.

The reliability of a system of protection depends not only on the quality of design and manufacture of the equipment, but also on the reliability of the overall transmission and reception of information and the ways in which these are affected by the existence of interference. In some protection systems the presence of interference will be important even when active transmission and reception of information is not taking place.

In addition to the conventional causes of failure (e.g. faults in equipment or manual interference) further problems arise due to the use of the equipment in the environment of the power system. The main sources of this interference, which may occur within the equipment at a station and/or on the teletransmission system itself are given in categories "A" and "B" below.

Category "A" relates to those conditions occurring during normal operation, whereas Category "B" is concerned with those arising from a fault on the power system and its clearance.

Depending on the design of the protection system and its associated information link, interference may, in varying degrees, prevent or delay wanted operation and/or cause unwanted operation (see Section 2).

Category "A"

(a) Corona

The level of noise from this cause depends on the power system voltage and design, the climatic conditions and the type of information link. The presence of corona does not generally constitute a problem in protection, except possibly in some cases of power line carrier on circuits at 220 kV and above when associated with restricted signal levels, i.e. less than 1 watt transmitted.

Typical values of corona noise in relation to power line carrier technique depend to some extent on the altitude, climate, insulation, system voltage, age and construction of the power line. Figures of - 8 dBm in a 5 kHz bandwidth for a 380 kV line under conducive weather conditions have been quoted.

(b) Isolator Operation

Normal switching operations involving slow speed isolators may occur frequently. The interference so generated is characterised by high amplitude and relatively long duration, i.e. 0.5 to 8 seconds, depending on the isolator design. The weak ionisation of the arc results in repeated restriking (both on opening and closing) which produces high amplitude trains of high-frequency oscillations within the area of the station. These oscillations can be coupled to many equipments at the station in various ways, for example, by direct coupling, by induction or by the common earthing system.

Operation of the isolator results in production of intense bursts of high-frequency current. The repetition frequency of the bursts is of the order of 1 kHz or more and the high frequency components lie typically in the range up to several MHz. Such currents constitute a high energy broad band noise source which gives rise to poor signal-to-noise ratios in narrow band receivers. The degradation in signal-to-noise ratio depends largely on the form of coupling and the characteristics of the equipment.

When an isolator directly associated with (and in the same station as) a power line carrier coupler is operated, it produces recurrent noise bursts at the co-axial cable 75 ohm termination of up to + 55 dBm (155 volts r.m.s.) in a 10 MHz bandwidth. Peaks of up to 1 kV or more are found.

Le bruit dû aux sectionneurs est également couplé par les fuites à travers les circuits bouchons (qui introduisent un certain affaiblissement) et également par voie électromagnétique avec les lignes à haute tension voisines. Les valeurs mesurées varient considérablement en raison des différences de configuration mais la figure 3.1 donne l'ordre de grandeur du bruit dû aux sectionneurs par ce mode de couplage dans un cas pratique.

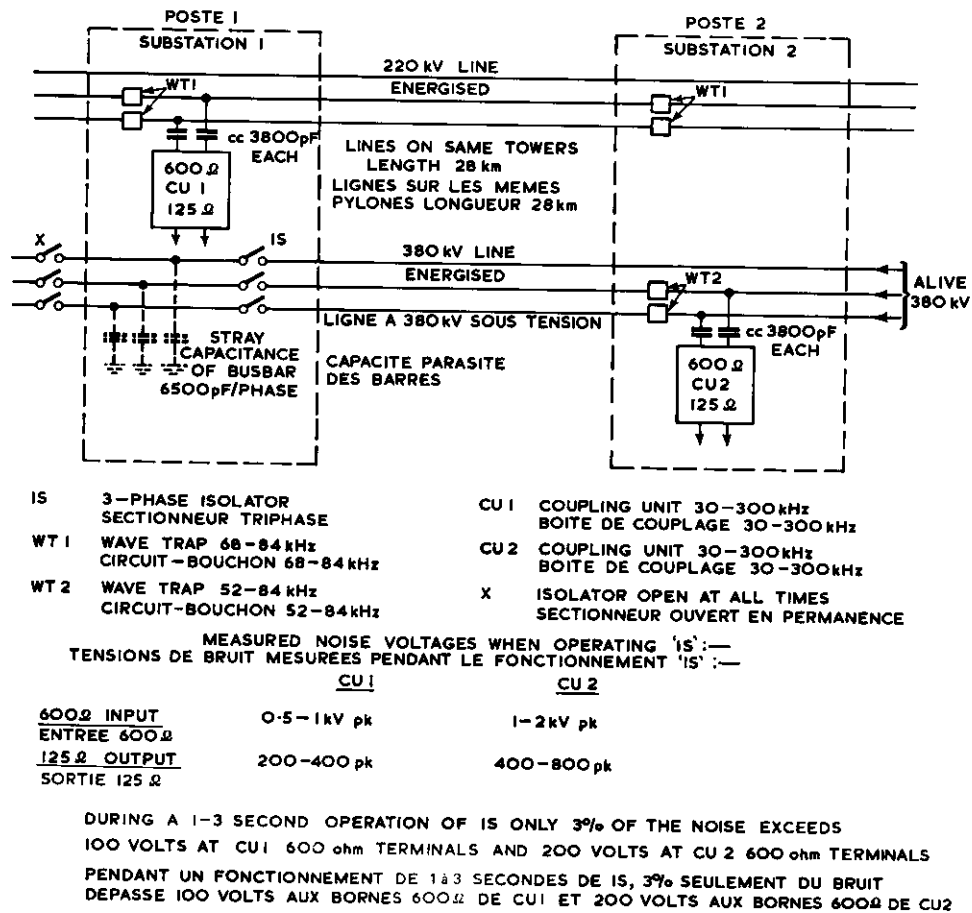


Figure 3.1 - Exemple de l'ordre de grandeur du bruit engendré par un sectionneur, mesuré dans un cas particulier

(c) Manoeuvres de disjoncteurs

L'enclenchement ou le déclenchement d'un ouvrage tel qu'une ligne ou un transformateur produisent des oscillations à haute fréquence qui sont couplées aux équipements de la même façon qu'en (b). La durée de ce type de bruit est limitée à la période de fonctionnement du disjoncteur et est souvent bien inférieure à 20 ms.

Le bruit à l'extrémité du câble coaxial 75 ohms consiste en composantes à haute fréquence ayant des amplitudes de 600 à 750 V crête, bien que la valeur efficace soit basse (de l'ordre de 10 dBm ou moins). Ces composantes s'étendent en fréquence jusqu'à 1 MHz au moins.

Catégorie "B"

(d) Défauts par amorçage

En général l'établissement d'un défaut est si rapide et le courant de défaut si élevé que le trajet de l'arc atteint rapidement un degré d'ionisation élevé. A l'établissement du défaut et avant que l'arc ne soit pleinement établi, le niveau de bruit est relativement élevé, de l'ordre de + 30 dBm efficaces dans une bande de 1 MHz pendant une durée inférieure à 5 ms. Lorsque l'arc est établi, le bruit tombe à un niveau plus bas, de 0 à + 5 dBm efficaces environ dans une bande de 100 kHz.

The isolator noise is also coupled by leakage through the wave traps (which introduce some attenuation) and coupled electromagnetically into adjacent H.V. lines. The values measured will vary considerably due to the different physical arrangements but figure 3.1 illustrates the order of magnitude of isolator noise coupled in these ways in an actual case.

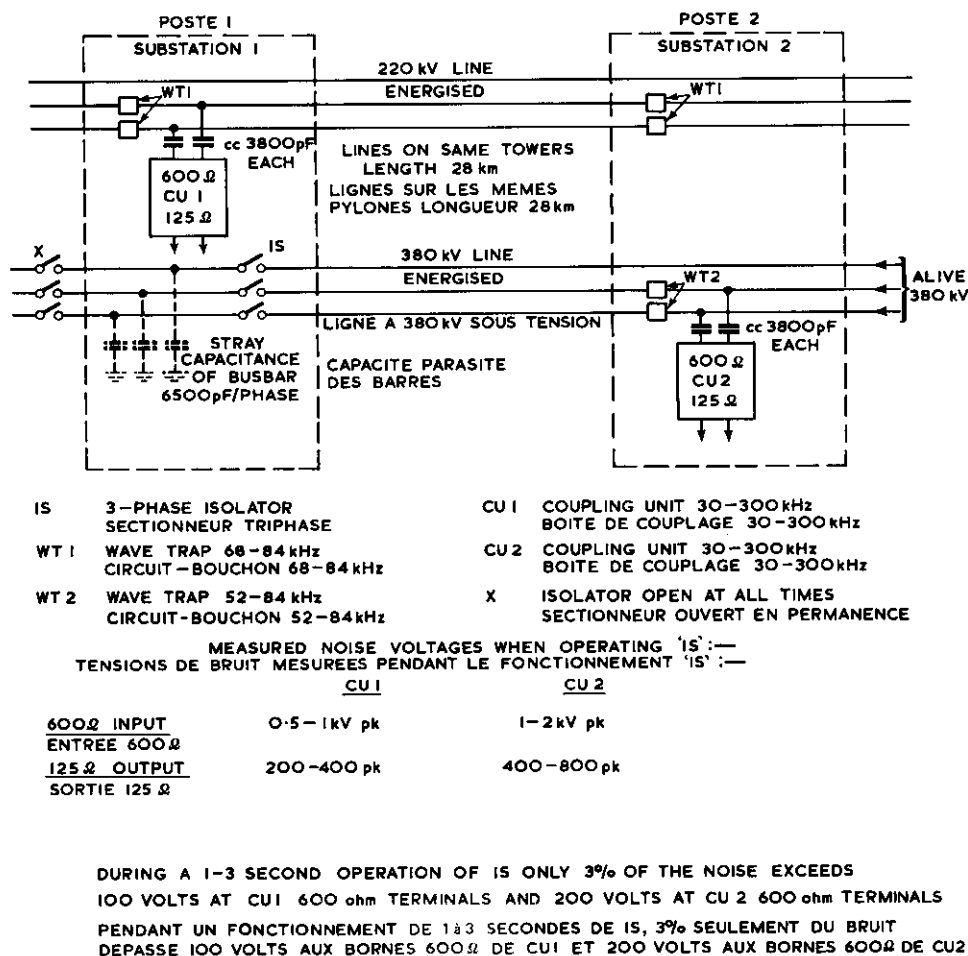


Figure 3.1 - Example of order of magnitude of isolator generated noise, measured in a typical case

(c) Switching by circuit-breakers

The switching in or out of a circuit, e.g. a line or a transformer, produces high frequency oscillation, which is coupled to equipment in a similar manner as mentioned in (b). The duration of this type of noise is limited to the operating period of the circuit-breaker, and is typically much shorter than 20 ms.

The noise at the co-axial cable 75 ohm termination consists of high frequency components having amplitudes of 600 - 750 V peak, although the r.m.s. value is low (of the order of 10 dBm or less). The frequency components extend up to at least 1 MHz.

Category "B"

(d) Arcing Faults

In general, the onset of a fault is so rapid and the fault current so high that the arc path quickly becomes highly ionised. At the onset of the fault and before the arc is fully established, the noise levels are relatively high being of the order of + 30 dBm r.m.s. in a 1 MHz bandwidth and having a duration of up to 5 ms. When the arc has become established the noise falls to a lower level of about 0 to + 5 dBm r.m.s. in a 100 kHz bandwidth.

L'arc et le niveau de bruit ne se modifient pas jusqu'au fonctionnement du disjoncteur, qui a lieu au bout d'un temps qui dépend de celui de la protection considérée. Toutefois, au moment où le disjoncteur élimine le défaut, le niveau de bruit atteint les valeurs indiquées en (e) ci-dessous.

(e) Coupure de courant de défaut

Pendant le processus de coupure, le fonctionnement du disjoncteur produit des oscillations qui se présentent surtout comme des phénomènes transitoires de rétablissement de tension et de courant et qui engendrent du bruit sur la ligne et sur les lignes voisines. La durée de ces oscillations est de l'ordre de 1 à 3 ms et leur fréquence s'étend jusqu'à 50 kHz au moins. L'amplitude du bruit produit dans ces conditions n'est pas aussi sévère qu'en (b) ci-dessus puisqu'elle est de l'ordre de 10 à 20 dBm efficaces dans une bande de 1 MHz pour un récepteur couplé à une ligne aérienne, bien que des pointes de courte durée de 1,5 à 3 kV se produisent (voir (c) ci-dessus). La courte durée du bruit, comparée au temps de transmission et au temps de fonctionnement des systèmes de protection, réduit encore son importance relative.

L'importance des différentes formes de perturbations dépend du rapport signal/bruit, du spectre de fréquence et de la durée de la perturbation ainsi que du moment auquel elle se produit. En général, les perturbations engendrées par les manoeuvres de sectionneurs sont les plus sérieuses en raison de leur grande amplitude, de leur spectre de fréquence étendu, de leur durée et de leur fréquence de répétition. Comme elles se produisent en exploitation normale, elles ont une grande importance car elles peuvent entraîner le fonctionnement intempestif de systèmes basés sur un ordre de déclenchement lorsqu'il n'existe pas de critères restrictifs.

Les perturbations apparaissant lors de défauts sur le réseau et lors de leur élimination, (d) et (e), bien que moins sévères qu'en (b) sont importantes car elles se produisent à un moment où la téléprotection est dans une phase active. Plus encore, les relais de protection d'autres ouvrages peuvent fonctionner au même moment.

Les perturbations dues au fonctionnement normal des disjoncteurs, (c), et à l'effet couronne, (a), sont généralement les moins sévères.

Des renseignements sur les perturbations subies par les courants porteurs se trouvent dans la bibliographie, Section 9.2.2.

3.1.1.2 - Sécurité de fonctionnement

Tous les systèmes de télécommunications sont soumis, à des degrés divers à des perturbations et à du bruit de formes variées. Ceux-ci peuvent détériorer l'information arrivant au récepteur, soit en simulant un signal alors qu'aucun signal n'existe en réalité, soit en empêchant ou en retardant le fonctionnement commandé par un signal réel.

Lorsque le rapport signal/bruit tombe en dessous d'une certaine valeur, la probabilité de transmission correcte d'un message décroît rapidement et la probabilité d'un fonctionnement incorrect ou intempestif s'accroît. Cette valeur critique est une fonction complexe des propriétés du système de télécommunications considéré.

La sécurité de fonctionnement peut être déterminée en considérant un nombre suffisamment grand d'événements pendant une période suffisamment longue et l'on peut appliquer les méthodes de la théorie des probabilités. Il peut être difficile en pratique de le faire sans arriver à des conclusions erronées et il est donc difficile d'obtenir des résultats quantitatifs. Les procédés de simulation, au cours d'essais en laboratoire peuvent apporter une aide appréciable. L'utilisation de la théorie des probabilités dans l'étude de la sécurité de fonctionnement est traitée plus en détail dans l'annexe A2.

Il y a quatre situations possibles d'un système de transmission utilisé pour la protection, et celles-ci doivent être considérées par rapport à la transmission et à la réception de l'information. Ces situations sont indiquées au tableau 3-2.

La situation (a) est souhaitable; elle correspond à la probabilité d'obtenir un "actionnement volontaire" lorsque cela est nécessaire, c'est-à-dire d'effectuer un déclenchement volontaire dans le cas d'un ordre de déclenchement, ou d'empêcher le déclenchement dans le cas d'un ordre de verrouillage. On peut également la définir comme la probabilité d'élimination correcte d'un défaut interne, ou la probabilité d'une sélection correcte en cas de défaut externe.

The arc, and the noise level remain unaffected until the circuit-breaker operates at a later time depending on the protection time involved. As the breaker clears the fault current, however, the noise level increases to values as given in (e) below.

(e) Interruption of Fault Current

During the process of interruption, the action of the circuit-breaker produces oscillations mainly in the form of recovery transients of voltage and current which generate noise on the circuit and those adjacent to it. The duration of such oscillations are of the order of 1 - 3 ms and frequencies lie in the range up to at least 50 kHz. The magnitude of noise produced in this manner is not as severe as in (b) above, being typically of the order of 10 to 20 dBm r.m.s. in a 1 MHz bandwidth for a receiver coupled to an overhead line, although short duration peaks of 1.5 to 3 kV occur (see (c) above). The short duration of the noise compared to the transmission and response time of protection systems further reduces its significance.

The importance of the different forms of interference depends on the signal-to-noise ratios, the frequency spectrum and duration of the interference and the time at which it takes place. In general the type of interference generated under (b) is the most serious because of its high amplitude, wide frequency spectrum, duration and frequency of occurrence. Because it occurs under normal conditions, it is important in relation to causing unwanted operation of systems based on "a command to trip" where permissive features are not used.

Interference caused during power system faults and their clearance (d) and (e), although less severe than (b) are important because they occur at the time during which the teleprotection is in active operation. Furthermore, protective relays on other circuits may at this time be activated.

Interference from normal circuit-breaker operation (c) and corona (a) are generally the least severe.

Information on carrier interference is given in the Bibliography, Section 9.2.2.

3.1.1.2 - Reliability

All communication systems are subject in varying degrees, to interference and noise of various forms. These can corrupt the information arriving at the receiver, either by simulating a signal when no real signal exists, or by preventing or delaying operation by a real signal.

When the signal-to-noise ratio falls to less than some critical value, the probability of correct transmission of a message decreases rapidly and the probability of an incorrect and unwanted operation increases. The critical value is a complex function of the properties of the particular telecommunication system.

Reliability can be determined by evaluation of a sufficient number of events over a sufficiently long time and the methods of probability theory can be applied. This may be difficult in practice without arriving at misleading results and quantitative figures are therefore difficult to obtain. Simulation by laboratory tests may be very helpful. More detailed emphasis is given to the use of probability theory in the study of reliability in Appendix A2.

There are four possible states of a telecommunication system when used for protection and these have to be considered in relation to the transmission and reception of information. They are shown in Table 3-2.

State (a) is desirable and is concerned with the probability of producing the "wanted action" when required, i. e. "wanted tripping" in the case of a trip command and "wanted non-tripping" in the case of a blocking command. Alternatively, this can be considered as probability of correctly clearing an internal fault and probability of correct selectivity on an external fault.

TABLEAU N° 3-2

CONDITIONS DE LA TRANSMISSION		ETAT DE LA PROTECTION
A L'EMISSION	A LA RECEPTION	
(a) <u>Si</u> un ordre est émis	l'ordre est reçu et exécuté	"Actionnement volontaire" (déclenchement ou verrouillage) Fonctionnement correct de la protection.
(b) <u>Si</u> un ordre est émis	l'ordre n'est pas reçu ou exécuté	"Actionnement défaillant" (Absence de déclenchement ou de verrouillage) Fonctionnement défaillant de la protection
(c) <u>Aucun</u> ordre n'est émis	Un ordre existe, est reçu et exécuté	"Actionnement non-volontaire" (Verrouillage ou déclenchement) Fonctionnement intempestif de la protection
(d) <u>Aucun</u> ordre n'est émis	Aucun ordre n'est reçu	"Pas d'actionnement" Fonctionnement correct de la protection.

La situation (b) n'est pas souhaitable ; c'est le cas de défaillance du système de télécommunications, temporaire ou permanente. La défaillance permanente entraîne des conséquences incorrectes, aussi bien dans les systèmes à déclenchement qu'à verrouillage. La défaillance de courte durée (par exemple la suppression des signaux transmis par un bruit impulsif) peut entraîner un fonctionnement retardé mais acceptable dans les systèmes à déclenchement, mais entraîne par contre un déclenchement intempestif dans les systèmes à verrouillage.

La situation (c) n'est pas souhaitable ; elle correspond à la réception de signaux erronés qui sont réellement exécutés, donc à la probabilité d'un actionnement incorrect. Des signaux de cette sorte, de courte durée, peuvent produire un "déclenchement intempestif" dans un système à déclenchement, ou retarder le déclenchement dans un système à verrouillage. Cette dernière éventualité pourrait être tolérée. Suivant la structure du réseau, il pourrait être admis d'accepter un certain risque d'actionnement non-volontaire de ce type si la probabilité "d'actionnement volontaire" en était accrue.

La situation (d) est souhaitable ; elle correspond à un comportement correct.

Les possibilités de réaliser les situations souhaitables (a) et (d), et d'éviter les situations non-souhaitables (b) et (c), ne sont pas indépendantes et dépendent toutes les deux du type et de la conception de l'équipement, y compris la liaison de téléinformation. Dans les systèmes pratiques de téléprotection, la philosophie de la conception et les conditions d'application exercent également une influence marquée à ce point de vue (voir Sections 1 et 2).

La conception des systèmes de téléprotection, et la façon dont les liaisons de téléinformation y sont employées, doivent tenir compte des limitations pratiques découlant du fait que l'influence des perturbations ne peut être complètement éliminée. En de nombreux cas, il est possible de se fixer, à la conception, des critères favorisant les "déclenchements volontaires" plutôt que permettant d'éviter les "déclenchements non-volontaires, ou vice versa, en liaison avec les effets des perturbations ou avec les défaillances du système de télécommunications. L'équilibre entre ces deux tendances, à savoir le risque de "déclenchement non-volontaire" et la sécurité des "déclenchements volontaires", dépend beaucoup de considérations initiales telles que les exigences du réseau d'énergie et les caractéristiques du système de protection (voir Sections 1 et 2).

En plus de la conception du réseau lui-même, des systèmes de protection caractérisés par une faible probabilité d'occurrence des situations non-souhaitables (b) et (c) contribueront à assurer la sécurité et la permanence de la fourniture d'énergie. Ces systèmes de protection garantiront le minimum acceptable de risque de détérioration des ouvrages ou de danger pour les personnes. En même temps, ils devront garantir un degré convenable de permanence de

TABLE No. 3-2

CONDITION OF COMMUNICATION CHANNEL		STATE OF PROTECTION
AT SENDING END	AT RECEIVING END	
(a) <u>If</u> a command is generated	The command is received and obeyed	"Wanted action" i.e. Trip or Block Correct protection is ensured
(b) <u>If</u> a command is generated	The command is not received or obeyed	"Missing action" i.e. either Failure to Trip or Failure to Block (Unwanted operation)
(c) A command is <u>not</u> generated	A command is present received and obeyed	"Unwanted action" either Unwanted Tripping or Unwanted Blocking
(d) A command is <u>not</u> generated	A command is not present	"No action" - correct

State (b) is undesirable and is concerned with failure of the telecommunication system, either permanent or transient. Permanent failure produces unwanted results in both tripping and blocking systems. Short time failure, e.g. suppression of transmitted signals by impulsive noise, may produce delayed but acceptable results in a tripping system, but still produce unwanted tripping in a blocking system.

State (c) is undesirable and is concerned with the reception of false signals which are effective in producing action, i.e. the probability of unwanted action. Short duration signals of this kind can produce "unwanted tripping" in a tripping system and delayed tripping in a blocking system. The latter may be acceptable. Depending on the design of the power system some degree of this type of unwanted action may be acceptable in favour of higher probability of "wanted action".

State (d) is desirable and concerned with the probability of correct behaviour.

The achievement of desirable states, (a) and (d), and the avoidance of undesirable states (b) and (c), are inter-related and both are influenced by the types and design of equipment, including the information link. In practical systems of teleprotection the philosophy of design and application also have marked influences in this respect (see Sections 1 and 2).

The design of teleprotection systems, and the ways in which information links are used need to take account of practical limitations arising from the fact that influence of interference cannot be completely avoided. In many cases it is possible to choose design criteria giving emphasised importance to producing "Wanted tripping" compared with avoiding "Unwanted tripping", or vice versa, in relation to the effects of interference and/or failure of the telecommunication system. The balance between these, i.e. risk of "unwanted tripping" and reliability of "wanted tripping" depends largely on basic considerations such as the requirements of the power system and the characteristics of the protection system (see Sections 1 and 2).

In addition to the design of the power system itself, the security and reliability of supply will be safeguarded by protection systems characterised by low values of probabilities of the undesirable states (b) and (c). Such protection will ensure acceptable minimum risks of damage to equipment, or of conditions dangerous to individuals. At the same time, it should ensure

la fourniture, c'est-à-dire assurer, avec une grande probabilité, que les coupures de clientèle seront rares et de courte durée. Il faut noter que, pour un système de protection de complexité donnée, ces deux exigences s'opposent et conduisent aux solutions de compromis adoptées dans la pratique.

Dans l'estimation des risques courus, il faut noter qu'un système de protection peut être appelé à se trouver soumis à des conditions de déclenchement "non-volontaire" beaucoup plus souvent (au moins 100 fois plus) qu'il n'aura à effectuer un "déclenchement volontaire". Ceci signifie que cette première éventualité sera plus fréquente au cours de la vie du système. Ceci conduit en pratique à contrôler le fonctionnement dans la seconde éventualité par des essais périodiques. La situation (d) est celle qui existe pratiquement en permanence durant la vie de l'équipement et il est donc facile de juger de son comportement dans ce cas.

Il est plus facile d'estimer rationnellement le degré de sécurité d'un réseau si la probabilité de défaillance de l'équipement de protection et de la boucle de commande complète contenant cet équipement est connue quantitativement, même si ce n'est qu'approximativement.

3.1.1.3 - Sécurité de fonctionnement - Vitesse de fonctionnement - Largeur de bande

Le rapport signal/bruit à la réception, et par conséquent la sécurité de fonctionnement en présence de perturbations, dépendent non seulement des caractéristiques des sources de bruit et du type de la liaison de téléinformation, mais également de la largeur de bande du canal de transmission. Le bruit que l'on rencontre le plus couramment en pratique présente des caractéristiques intermédiaires entre celles d'un bruit gaussien et celles d'un bruit purement impulsif. Ce sont là, théoriquement, les deux limites idéales. Pour le bruit gaussien blanc, (dans lequel l'énergie par cycle de largeur de bande est constante) la valeur efficace de la tension de bruit à la sortie d'un filtre est proportionnelle à la racine carrée de la largeur de bande. Par contre, pour le bruit de nature impulsive, la valeur efficace de la tension de bruit à la sortie d'un filtre est proportionnelle à la largeur de bande. La loi suivie par le bruit dans la pratique se place entre ces deux extrêmes. D'après le théorème central limite, les divers types de bruits rencontrés en pratique tendent vers la forme gaussienne lorsque l'on réduit la largeur de bande.

La vitesse de fonctionnement globale dépend à la fois du temps de transmission et du temps de fonctionnement de l'équipement récepteur. Les besoins en ce qui concerne la vitesse de fonctionnement sont détaillés à la Section 4.2.

La vitesse maximale de fonctionnement global du système de téléprotection dépend du temps de propagation sur la liaison. Un autre facteur de limitation de la vitesse est la plus petite largeur de bande existant sur la liaison et dans le récepteur. Normalement, le récepteur a une largeur de bande plus faible que celle de la liaison et c'est lui qui limite la vitesse. La notion d'étroitesse de la largeur de bande couvre, dans ce contexte, le filtrage en fréquence, l'intégration des signaux reçus, le ralentissement des relais de réception etc...

Le choix d'une largeur de bande appropriée apparaît donc comme un compromis entre les besoins concernant la vitesse de fonctionnement, et la sécurité de fonctionnement requise en présence d'un bruit donné. Les considérations de sécurité de fonctionnement poussent à la réduction de la largeur de bande (par exemple par ralentissement des relais, intégration sur des temps atteignant couramment de 10 à 20 ms) aux dépens de la vitesse de fonctionnement, du moins pour les équipements actuels ne faisant pas usage des techniques de corrélation. Le bruit que la liaison est susceptible de subir et la largeur de bande disponible dépendent pour une grande part du type de transmission choisi. Par exemple, des canaux passant par courants porteurs sur ligne, par ligne aérienne, par câble et par faisceaux hertziens ont de grandes chances d'être, dans cet ordre, de moins en moins bruyants.

De ces considérations générales, on peut déduire que la susceptibilité au bruit d'un système de protection simple et sans codage croît avec la vitesse, pour des raisons qui sont liées aussi bien à la largeur de bande qu'au temps de réponse des éléments du récepteur.

L'annexe A1 apporte un complément d'information sur ces questions.

3.1.1.4 - Sécurité de fonctionnement et codage

La probabilité de réaliser à coup sûr un actionnement volontaire, ou d'éviter un actionnement non-volontaire peut être accrue par le codage des messages

that the reliability of continuity of supply is adequate, i.e. a high probability that interruptions of supplies to consumers will be rare and of short duration. It should be noted that, for a protection system of given complexity, these two requirements tend to conflict and lead to compromise solutions being used in practice.

In assessing the risks involved, it should be noted that a protection system may be called upon to withstand "unwanted tripping" many more times (100 or more) than it will be required to produce "wanted tripping". This means that more evaluations of the former behaviour are made during the protection system's life. This leads to the practice of checking the latter behaviour by regular functional checks. State (d) is almost continually in effect during the life of the equipment and is consequently readily evaluated.

A rational assessment of the degree of security of a power system is made more possible if the probability of failures in the protection equipment and the overall control loop containing the protection system are known quantitatively, even if only approximately.

3.1.1.3 - Reliability - Speed of Operation - Bandwidth

The received signal-to-noise ratio and thus the reliability in the presence of interference, depends not only on the characteristics of the sources of noise and the type of information link but also on the bandwidth of the transmission channel. Most noise encountered in practice has characteristics lying somewhere between those of a gaussian noise and a pure impulsive noise. Both of these are theoretical ideals and for white gaussian noise (where the energy per cycle bandwidth is constant) the r.m.s. noise voltage at the output of a filter is proportional to the square root of the bandwidth. For impulsive noise, however, the r.m.s. noise voltage at the output of a filter is proportional to the bandwidth. In the practical case the law lies between these extremes. By the central limit theorem, the types of noise encountered in practice will approach gaussian as the bandwidth is reduced.

The overall speed of operation depends on both the time of transmission and the operating time of the receiving equipment. Details of the requirements for speed are given in Section 4.2.

The maximum overall speed of operation of the teleprotection system depends on the propagation time of the link. A further limitation of speed is the narrowest bandwidth contained within the link and receiver. Normally the receiver will have a narrower bandwidth than the link thus reducing speed. Narrowing of the bandwidth includes, in this context, frequency selective filtering, integration of received signals, slugging of receive relays etc.

The choice of an appropriate bandwidth is thus a compromise between the requirements of operational speed and the required reliability in withstanding a given noise environment. Reliability considerations force a reduction in bandwidth (e.g. relay slugging, integration for periods of typically 10 - 20 ms) at the expense of operational speed with present day equipments not using correlation techniques. The noise environment and the available bandwidth depends to a great extent on the particular type of teletransmission system which is chosen. For example, the links used by power line carrier, wire line, cable and microwave systems, can each be expected to be successively less noisy.

From these general considerations, it can be seen that the susceptibility to noise of a simple teleprotection system not employing coding increases as its speed increases from both bandwidth considerations and with the response time of the receiving elements.

Appendix A1 gives further information on these questions.

3.1.1.4 - Reliability - Message Coding

The probability of achieving wanted action or avoiding unwanted action can be increased by the coding of messages.

Il existe plusieurs possibilités de codage du simple message d'option entre "tout ou rien" (binaire). Habituellement le message est transmis sous forme redondante c'est-à-dire qu'un mot de plusieurs caractères peut représenter une seule option "tout ou rien" (voir Section 3.1.2.2. et annexe A3).

La transmission de ce mot de plusieurs caractères accroît le temps de transmission si l'on suppose la largeur de bande donnée, on nécessite une largeur de bande plus grande si la vitesse de transmission est donnée.

Toutes les méthodes de codage ont donc pour caractéristique commune qu'un accroissement de la sécurité de fonctionnement du système de télécommunications ne peut s'obtenir qu'au prix d'une augmentation, soit du temps de transmission, soit de la largeur de bande occupée. Néanmoins, le codage des messages offre des avantages car la possibilité de détection des erreurs peut contrebalancer, et au-delà, les désavantages de l'accroissement du temps de transmission ou de la largeur de bande requise.

3.1.1.5 - Sécurité de fonctionnement et transmission par plusieurs itinéraires

La sécurité de fonctionnement globale d'une téléprotection peut être accrue par la transmission simultanée du même message par des canaux différant par leurs propriétés telles que la susceptibilité au bruit, aux détériorations d'ordre matériel, ou aux différents types de défaillances. Ce procédé ne procure un bénéfice certain que si toutes précautions sont prises dans les récepteurs pour faire la distinction entre messages corrects et messages entachés d'erreurs. (Voir aussi 2.3 et annexe A2). Alors que le doublement simple d'un système peut accroître la probabilité de réaliser un "actionnement volontaire", il peut en même temps accroître la probabilité d'un actionnement "non-volontaire" en raison de l'augmentation de la susceptibilité au bruit reçu. La philosophie de l'usage conjoint de systèmes doubles et triples doit, en fait, tenir compte de ces facteurs par l'emploi de détecteurs de rapport signal/bruit dans les récepteurs, de systèmes de choix "à la majorité" ou de techniques analogues dont l'usage peut, par ailleurs, imposer une contrainte sous forme d'un retard de l'actionnement volontaire dans certains cas.

Si l'utilisateur, comme cela peut se produire, exige une très grande sécurité de fonctionnement, il est possible qu'il ne puisse jamais l'obtenir avec des systèmes de téléprotection réalisés selon les conceptions actuelles. Il se peut qu'il soit amené à comparer des informations lui parvenant simultanément par deux ou plusieurs itinéraires séparés (et probablement différents), et à faire usage de redondance dans l'ensemble du système de téléprotection pour pallier une défaillance éventuelle de l'équipement. (voir annexe A2).

3.1.2 - Méthodes de transmission et de réception des informations

Ce chapitre est surtout destiné aux ingénieurs des protections et récapitule très brièvement quelques principes et méthodes de la transmission et de la réception des informations. Il insiste sur l'information de type binaire, c'est-à-dire à deux états "Commande - veille".

3.1.2.1 - Transmission en courant continu et à fréquence vocale

La façon la plus simple de transmettre un ordre est l'utilisation d'une tension ou d'un courant continu, utilisation dans laquelle l'absence de tension ou de courant peut être l'état "veille" et leur présence l'état "commandé" ou vice versa. Les deux méthodes sont utilisées. Presque tous les ordres ainsi transmis sont actionnés en fermant ou en ouvrant un contact de relais électro-mécanique ou un dispositif interrupteur à semi-conducteurs. La transmission en courant continu ne convient que pour les courtes distances, en raison des limitations généralement bien connues d'une telle transmission de l'information (voir section 2.3.2.1.).

Dans le récepteur, un contact mécanique ou un dispositif à semi-conducteurs s'ouvre ou se ferme sous l'action du courant ou de la tension transmis. Des dispositifs interrupteurs intermédiaires peuvent être prévus en tant que moyens d'amplifier ou d'isoler.

De même, dans le cas de la transmission à fréquence vocale, des dispositifs interrupteurs mécaniques ou à semi-conducteurs sont utilisés pour commander la transmission à l'extrémité émission et pour reproduire le signal à l'extrémité réception.

La transmission à fréquence vocale (généralement dans la bande 300 - 3400 Hz) peut se faire de plusieurs façons :

Several methods for coding a simple "Yes/No" (binary) decision message are possible. Usually the message will be transmitted in a redundant form, i. e. a word of several characters may represent only one "Yes/No" decision. (See Section 3.1.2.2 and Appendix A3).

Transmission of the multi-bit word, assuming a given channel bandwidth, increases the transmission time or requires more channel bandwidth for a given transmission speed.

All coding methods therefore have the common characteristic that increased reliability of the telecommunication system is obtained only at the expense of either additional delay in transmission or occupation of a wider bandwidth. Nevertheless, the coding of messages offers advantages because the error detection properties can outweigh the disadvantages of increased transmission time or wider bandwidth requirements.

3.1.1.5 - Reliability and Multi-Route Transmission

Overall teleprotection reliability can be improved by simultaneous transmission of the same message over channels having independent properties, such as susceptibility to noise, physical damage, or types of failure. The benefit of such a system is only assured if precautions are taken in the receiving systems to discriminate between correct and corrupted signals. (See also 2.3 and Appendix A2). While a simple duplication of a system may increase the probability of achieving "wanted action" it may also simultaneously increase the probability of "unwanted action" due to the increased susceptibility of noise being received. The philosophy of the interconnection of dual and triple systems has, in practice, to take these factors into account by the use of signal-to-noise detectors in the receivers, "majority voting" or similar techniques, the use of which may, however, exact a penalty in delaying wanted operation under some circumstances.

If the user, as may well be the case, requires very high orders of reliability, it may well be that these can never be given by teleprotection systems using the present philosophy. It may be essential to utilise comparison of information arriving simultaneously by two or more separate (and probably different) routes and to incorporate redundancy in the whole teleprotection system to cater for equipment failure. (See Appendix A2).

3.1.2 - Methods of Transmission and Detection of Information

This chapter is mainly intended for protection engineers and recapitulates very briefly, some principles and methods of information transmission and detection. It concentrates on two-state information, i. e. a "yes/no" command.

3.1.2.1 - D.C. and Voice Frequency Transmission

The simplest form of a command signal is represented by a direct current or voltage, where the absence of current or voltage may represent the "no"-state and the presence of current or voltage the "yes"-state, or vice versa. Both methods are in use. Almost any command may be initiated in this form by closing or opening of an electro-mechanical relay contact or a semiconductor switch. D.C. transmission is confined to short distances, due to the generally well known limitations of such information transmission (see Section 2.3.2.1).

At the receiver, a mechanical contact or semiconductor switch may be opened or closed by the transmitted current or voltage. Intermediate switches may have to be provided, acting as amplifying or isolating devices.

Again, in the case of voice frequency transmission contacts or semiconductor switches are used to initiate the transmission at the sending end and to relay the signal at the receiving end.

Voice frequency transmission (usually in the band between 300 - 3400 Hz) can be effected in different ways :

- (a) L'état "commande" est représenté par la transmission d'une fréquence vocale ayant une valeur fixée f_1 et un niveau prédéterminé, l'état "veille" étant représenté par l'absence de cette fréquence ou vice versa. Cette méthode est généralement appelée transmission en "modulation d'amplitude" (transmission en AM). La fréquence vocale est reçue, puis redressée (démodulée) et actionne un relais de réception électro-mécanique ou un dispositif à semi-conducteurs.
- (b) L'état "commande" est représenté par la transmission d'une fréquence vocale ayant une valeur fixée f_1 et l'état "veille" par une fréquence vocale ayant une valeur fixée f_2 . Cette méthode est généralement appelée transmission par "déplacement de fréquence" (changement de fréquence en abrégé FSK (*). Ses avantages par rapport à la transmission en AM résident dans le fait que le discriminateur, qui à la réception transforme le déplacement $f_1 - f_2$ en un ordre "commande - veille", possède en même temps une fonction de limitation d'amplitude par laquelle on se protège contre le bruit.
- (c) Une méthode combinant les deux méthodes (a) et (b) consiste à transmettre l'état "commande" par la présence simultanée de 2 (ou plus) fréquences f_1 et f_2 et l'état "veille" par 2 (ou plus) fréquences f_1 et f_3 ou f_2 et f_4 etc...
- Cette méthode est essentiellement appliquée pour la transmission de plusieurs états (plus qu'une simple commande "commande-veille") et elle utilise la transmission simultanée de 2 fréquences ou plus parmi un certain nombre (par exemple 5 ou plus) de fréquences possible. C'est une transmission redondante codée en parallèle, alors que la méthode exposée en 3.1.1.4 représente une transmission codée en série.
- (d) L'état "commande" est représenté par la transmission d'une fréquence vocale ayant une valeur fixée f , l'état "veille" étant représenté par la transmission de la même fréquence dont on a déplacé la phase d'une certaine valeur, par exemple 180° . Cette méthode est généralement appelée transmission par déplacement de phase (en abrégé PS) (1). Ses propriétés sont très semblables à celles de la transmission par déplacement de fréquence (FS) (2).

En associant deux canaux (ou plus) de transmission FSK ou PS dans un système plus complexe, la sécurité de fonctionnement pour un rapport signal sur bruit donné peut être encore améliorée.

3.1.2.2 - Transmission par courants porteurs et voies radio

Dans le cas de la transmission par courants porteurs et par voies radio, on peut utiliser deux principes différents : (1) les méthodes analogiques (2) les méthodes digitales.

1 - Méthodes analogiques

(a) Porteuse directement manipulée (en amplitude ou en fréquence)

La porteuse est modulée en amplitude ou sa fréquence est déplacée comme dans les cas (a) et (b) de 3.1.2.1. Ces méthodes sont quelquefois employées dans les cas où un seul ordre doit être transmis.

(b) Porteuses modulées par des fréquences vocales

Les fréquences vocales correspondant à 3.1.2.1. cas (a) à (d), faisant fonction de sous-porteuses, modulent une porteuse principale. Ces méthodes sont plus fréquemment utilisées.

(c) Systèmes à modulation d'impulsions (modulations en largeur, en position, en amplitude, de la fréquence de récurrence, etc...)

Dans ces systèmes l'information est contenue dans la largeur, la position, l'amplitude ou la fréquence de récurrence etc... d'un train d'impulsions. L'information est caractérisée par une représentation analogique. La modulation peut être appliquée à la porteuse ou à une (ou des) sous-porteuse.

Des circuits comparant le signal au bruit sont souvent utilisés dans les systèmes de transmission par courants porteurs ou par voies radio pour empêcher un ordre intempestif dû au bruit. Il faut remarquer qu'ils peuvent également augmenter le risque de ne pas exécuter un ordre volontaire, ou en retarder l'exécution.

(*) Nota - de l'anglais Frequency Shift Keying

(1) de l'anglais Phase Shift

(2) de l'anglais Frequency Shift

- (a) The "yes" state is represented by transmission of a voice frequency having a fixed value f_1 and of a pre-determined level, the "no" state being represented by the absence of this frequency or vice versa. This method is usually called "amplitude modulated" transmission (AM transmission). The received voice frequency, after being rectified, (demodulated) actuates a receiving relay contact or semi-conductor switch.
- (b) The "yes" state is represented by transmission of a voice frequency, having a fixed value f_1 , and the "no" state by a voice frequency having a fixed value f_2 . This method is usually called "frequency-shift" transmission (frequency exchange or frequency shift keying (FSK)). Its advantages over AM transmission lie in the fact that the discriminator at the receiver which transforms the $f_1 - f_2$ shift into "yes-no" commands has, at the same time, an amplitude limiting function thereby discriminating against noise.
- (c) A method combining both (a) and (b) consists of transmitting a "yes" state simultaneously by 2 (or more) frequencies f_1 and f_2 and a "no" state by transmitting 2 (or more) frequencies f_1 and f_3 or f_2 and f_4 etc.
- This method is mainly applied for a multi-state (more than only one "yes-no" command) transmission and uses 2 or more frequencies simultaneously out of a multiple (say 5 or more) of possible frequencies. It represents a redundant parallel coded transmission, as compared to the method in 3.1.1.4 which represents serially coded transmission.
- (d) The "yes" state is represented by transmission of a voice frequency having a fixed value f , the "no" state by the same frequency but with the phase shifted by a certain amount, say 180° . This method is usually called "phase-shift" transmission (PS-transmission). Its properties are very similar to FS-transmission.

By combining two or more FSK or PS transmission channels into a more complex system, the reliability for a given signal-to-noise ratio can be still further improved.

3.1.2.2 - Carrier current and radio frequency transmission

In the case of carrier current and radio frequency transmission two different principles can be used (1) analogue methods and (2) digital methods.

1 - Analogue Methods

(a) Keyed Carrier (Amplitude or frequency)

The carrier is modulated in its amplitude or shifted in its frequency similar to the cases (a) and (b) of 3.1.2.1. These methods are sometimes employed in cases where only one command has to be transmitted.

(b) Voice Frequency Modulated Carriers

Voice frequencies corresponding to 3.1.2.1 (a) to (d) acting as subcarriers are modulated onto the main carrier. These methods are more frequently used.

(c) Pulse Modulation Systems (Pulse width, pulse position, pulse amplitude, pulse repetition frequency etc.)

In these systems the information is contained in the width, position, amplitude or the repetition frequency etc. of a train of pulses. The information is characterised by an analogue representation. The modulation may be applied to the carrier or to a sub-carrier(s).

Signal-to-noise comparison circuits are often used on carrier current and radio frequency transmission systems to prevent unwanted operation by noise. It should be noted that they may also increase the risk of failure to achieve wanted operation or may delay wanted operation.

2 - Méthodes digitales

(a) Modulation par impulsions codées (PCM) (1)

Les systèmes de modulation PCM fonctionnent en échantillonnant ou en quantifiant (voir Glossaire) le signal analogique à des instants prédéterminés. La fréquence d'échantillonnage $2W$ doit au moins être deux fois la largeur de bande W de l'information sous forme analogique. Cette quantification d'un signal permanent introduit un bruit (bruit de quantification) qui dépend seulement du nombre de niveaux discrets choisi pour quantifier. Chaque niveau discret est caractérisé par un code binaire qui est transmis. A la réception, les codes binaires sont retransformés en signal analogique. Coder une information contenant un ordre binaire "commande - veille" peut être considéré comme un cas particulier de la modulation codée par impulsion dans lequel le signal qui est déjà sous forme binaire doit être transformé en un mot binaire plus redondant. Généralement l'information sera transformée en un train d'impulsions de forme et de récurrence données.

(b) Modulation en delta

Le signal analogique est échantillonné dans le temps à une vitesse beaucoup plus grande que pour la modulation codée par impulsions (PCM) et à chaque échantillon correspond un seul bit. Pour déterminer si un bit est un "1" ou un "0", il faut connaître l'échantillon précédent. Si l'échantillon qui se présente provoque une variation d'amplitude à une vitesse plus grande qu'une vitesse donnée par comparaison à l'échantillon précédent, c'est un "1" qui est transmis, si la vitesse est plus faible, c'est un "zéro" qui est transmis.

Quoique jusqu'à maintenant peu employée, le gros avantage de cette méthode réside dans la simplicité de la transmission et du récepteur.

Un avantage de tous les systèmes digitaux est que le rapport signal sur bruit peut être aussi petit que le rapport du signal au bruit de quantification. Le signal peut être remis en forme en des points situés entre l'émetteur et le récepteur et par conséquent les effets du bruit d'origine extérieure à l'équipement lui-même (sauf dans le cas d'un bit remplacé par son complément) peuvent être minimisés (comparer aux dégradations successives du signal pour les systèmes analogiques à répéteurs).

3.1.2.3 - Multiplexage

Le multiplexage comprend toutes les techniques qui combinent plusieurs sources individuelles d'information pour les transmettre au moyen d'une liaison de téléinformation commune.

On peut distinguer en première approximation deux genres de systèmes :

Multiplexage en fréquence (F.D.M.) (Voir Glossaire)

La bande des fréquences de chaque source d'information est translatée dans le spectre au moyen d'une modulation, chaque source d'information occupant une bande de fréquences assignée. Au récepteur, les différentes informations sont séparées par des filtres et les fréquences translattées dans l'autre sens à leurs valeurs d'origine.

Multiplexage dans le temps (T.D.M.) (Voir Glossaire)

Chacune des sources d'information est examinée séquentiellement et transmise. Le récepteur est synchronisé avec l'émetteur et il dirige le signal qui se présente vers le canal approprié.

Les systèmes à modulation codée par impulsions (et à multiplexage dans le temps) ont une importance croissante dans la pratique des télécommunications lorsque l'on emploie des systèmes à canaux téléphoniques multiples.

3.1.3 - Résumé des généralités

La sécurité de fonctionnement et les performances d'un système de téléprotection sont déterminées par la relation complexe qui existe entre les différents facteurs et paramètres à la fois de la protection et des systèmes de télécommunications. Ces facteurs et paramètres sont :

(1) de l'anglais Pulse Code Modulation

2 - Digital Methods

(a) Pulse Code Modulation (P.C.M.)

P.C.M. systems operate by sampling and quantizing (see Glossary) the analogue signal at predetermined intervals. The sampling frequency $2W$ has to be at least twice the bandwidth W of the analogue information. This quantization of a continuous signal introduces a noise - quantizing noise, which depends solely on the number of discrete levels chosen for quantizing. The discrete levels are then each characterised by a binary code which is transmitted. On reception, the binary codes are reconstituted as an analogue signal. Coding of a "yes/no" binary decision message can be considered as a special case of pulse code modulation, where a signal which is already in binary form has to be converted into a more redundant word. Usually the message will be converted into a train of pulses of defined pulse shape and pulse spacing.

(b) Delta Modulation

The analogue signal is sampled in time at a much higher rate than in P.C.M. and only one bit is assigned to each sample. The decision on whether this bit is a "one" or a "zero" depends on the previous sample. If the present sample indicates more than a given rate of change of amplitude when compared to the previous sample a "one" is transmitted, if less a "zero" is transmitted.

Although not yet widely applied the main advantage lies in the simplicity of the transmitter and receiver.

An advantage of all digital systems is that the signal-to-noise ratio can be limited to the signal-to-quantizing noise ratio. The signal can be regenerated at intermediate points on the route and thus the effects of noise external to the system itself (with the exception of bit reversal) can be minimised - compare additive degradation of repeated analogue systems.

3.1.2.3 - Multiplexing

Multiplexing includes all those techniques for combining several individual information sources for transmission over a common information link.

There are broadly two types of system :

Frequency Division Multiplexing (F.D.M.) (See Glossary)

The band of frequencies from each information source is frequency translated by a modulation process, each information source occupying an assigned band of frequencies. At the receiver they are separated by filters and frequency translated back to the original frequencies.

Time Division Multiplexing (T.D.M.) (See Glossary)

The individual information sources are scanned sequentially and transmitted. The receiver is synchronised to the transmitter scanner and directs the incoming signal to the appropriate channel.

P.C.M. (and T.D.M.) systems are of growing importance in telecommunications practice where multi-channel telephone systems are in use.

3.1.3 - Summary of General Considerations

The reliability and capabilities of a teleprotection system are determined by the complex inter-relationship which exists between the various factors and parameters of both the protection and the telecommunication systems. These include :

Les exigences particulières de la ligne HT à protéger

Les limites propres à un genre particulier de système de télécommunications déjà existant ou à choisir.

La distance maximale à couvrir

La largeur de bande de transmission disponible

La forme et l'amplitude des bruits et perturbations

La fréquence de répétition des perturbations et leur durée

La corrélation, s'il y en a une, entre les perturbations et les anomalies du réseau dues aux défauts, aux manoeuvres d'appareils de coupure, etc...

Les règlements limitatifs.

Ces limites du système de télétransmission doivent être coordonnées avec les performances demandées à l'ensemble du système de téléprotection pour chaque application particulière. Les points suivants ont leur importance et certains compromis sont nécessaires :

La rapidité exigée en fonction de la bande disponible

La sécurité de fonctionnement de l'ensemble du système de téléprotection sur le plan des actionnements volontaires ou intempestifs en fonction de la sécurité de fonctionnement exigée pour le réseau.

La prise en considération des points ci-dessus conduit à la nécessité d'une parfaite compréhension des propriétés propres à la fois à la protection et aux équipements de télécommunications pour la conception d'un projet, de façon que le système soit considéré comme une entité unique.

Pour la conception et la réalisation satisfaisantes d'une téléprotection, il est important que les ingénieurs des protections aussi bien que ceux des télécommunications soient capables de chiffrer les exigences pour différentes applications. Actuellement, on n'a pas de tels chiffres sur une grande échelle et il est difficile de donner des chiffres même approximatifs sur les performances que l'on espère d'une liaison de téléinformation et par suite, d'un système de téléprotection. Le collationnement, l'échange et l'analyse ordonnée d'informations sur les installations existantes ainsi que des recherches organisées dans les laboratoires et des essais en exploitation peuvent être fructueux. Dans l'annexe A2, on essaye de définir les termes les plus importants.

3.2 - SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS UTILISANT DES CONDUCTEURS AUXILIAIRES

(Câbles et fils de télécommunications)

Cette section traite des systèmes de télécommunications basés sur l'utilisation de conducteurs auxiliaires de différents types. Comme le montre le tableau 3.1, ces systèmes couvrent la plage de fréquences allant du courant continu à 500 kHz. Les fréquences de la plage des audio-fréquences, c'est-à-dire jusqu'à 10 kHz, sont plus courantes pour ce genre d'applications mais les fréquences porteuses, par exemple jusqu'à 500 kHz, peuvent être utilisées sur des fils aériens et sur des câbles de télécommunications pour des distances relativement courtes ou pour des distances plus importantes si on fait usage d'amplificateurs intermédiaires. Les paramètres usuels concernant différents types de conducteurs auxiliaires sont donnés dans les tableaux 3-3, 3-4, 3-5. (Des renseignements concernant la vitesse de propagation sont donnés dans le tableau 4-4). Il a déjà été question dans la section 2 de ce rapport de l'influence et de l'importance relative de quelques-uns de ces paramètres. Dans les sections suivantes, il sera fait mention d'autres points d'intérêt de ces paramètres. Le cas particulier de la transmission par courants porteurs sur les conducteurs principaux, c'est-à-dire les courants porteurs sur lignes d'énergie est traité dans la section 3.3.

3.2.1 - Procédés de transmission

Les différents procédés de transmission peuvent être classés de façon commode en fonction des fréquences utilisées.

Il faut remarquer que les procédés par audio-fréquences ou fréquences porteuses sont d'application générale et l'essentiel du contenu de la section 3.2.1.1 ci-dessous pourra s'appliquer aux courants porteurs sur les lignes d'énergie et aux liaisons radio.

The specific requirements concerning the H.V. transmission system to be protected.

The limitations appropriate to a particular type of telecommunication system already existing or to be chosen.

Maximum distance to be covered.

Available transmission bandwidth.

Form and magnitude of noise and interference.

Frequency of occurrence of interference and its duration.

The correlation, if any, between interference and power system disturbances due to faults, switching, etc.

Restricting regulations.

These limitations of the teletransmission system need to be correlated with the overall teleprotection system performance required for the particular application. The following aspects need consideration and some compromise may have to be accepted :

The required speed in relation to available bandwidth.

The reliability of the overall teleprotection system in the sense of wanted and unwanted action when related to that required by the power system.

Consideration of the above factors leads to the necessity of a thorough understanding of the specific properties of both the protection and the telecommunication equipments in the planning stages of a project, so that the system is considered as a single entity.

In the satisfactory design and application of teleprotection, it appears important that both protection and telecommunication engineers be able to quantify the requirements for various applications. At present, such quantitative information does not exist to any great extent and it is difficult to attach even estimated figures to the performance to be expected of an information link and hence, of the teleprotection system. The collection, interchange and orderly analysis of information on existing installations together with organised investigations in laboratories and in the field would seem to be worthwhile. In Appendix A2, an attempt to define the most important terms is made.

3.2 - TELECOMMUNICATION SYSTEMS USING AUXILIARY CONDUCTORS (Signalling Cables and Wires)

This section deals with telecommunications systems based on the use of auxiliary conductors of various forms. As will be seen from Table 3-1, it covers a frequency range of d.c. to 500 kHz. Frequencies up to the audio range, i.e. 10kHz, are more normal for this range of applications but carrier frequencies, e.g. up to 500 kHz, may be used on open wires and on signalling cables for relatively short distances or greater distances if intermediate amplification is used. The typical parameters for various types of auxiliary conductors are given in Tables 3-3, 3-4, 3-5. (Information on velocity of propagation is given in Table 4-4). The significance and relative importance of some of these parameters have already been referred to in Section 2 of the report. Reference will be made to the further significance of these parameters in the following sections. The particular case of carrier frequency signalling over the main conductors, e.g. power line carrier, is dealt with in Section 3.3.

3.2.1 - Methods of Signalling

The various methods of signalling can conveniently be divided on a basis of the frequencies used.

It should be noted that the methods of signalling by audio and carrier frequencies are basic and much that is contained in Section 3.2.1.1 below will be applicable to power line carrier and radio links.

3.2.1.1 - Transmission en courant continu

Ce procédé est souvent utilisé pour le déclenchement interdépendant (voir section 2.3.2.1). Un système unidirectionnel simple est indiqué schématiquement par la figure 3.2. Le fonctionnement d'un relais "d'émission" S applique sur les circuits de transmission une tension continue qui actionne le relais "réception" R à l'extrémité éloignée. La transmission a par conséquent la forme d'un échelon de tension continue. Lorsqu'une transmission bidirectionnelle est nécessaire, on utilise souvent un schéma tel que celui indiqué par la figure 3.3. Le fonctionnement du relais "émission" à l'une ou l'autre extrémité applique la tension aux circuits de transmission et de plus isole le relais "réception" local.

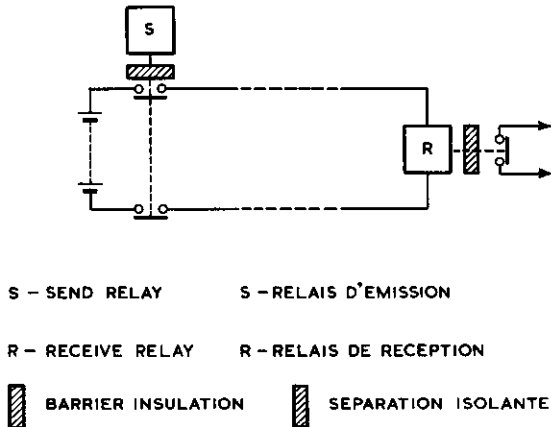


Figure 3.2 - Schéma de base d'un équipement simplifié d'interdéclenchement unilatéral (téléclenchement)

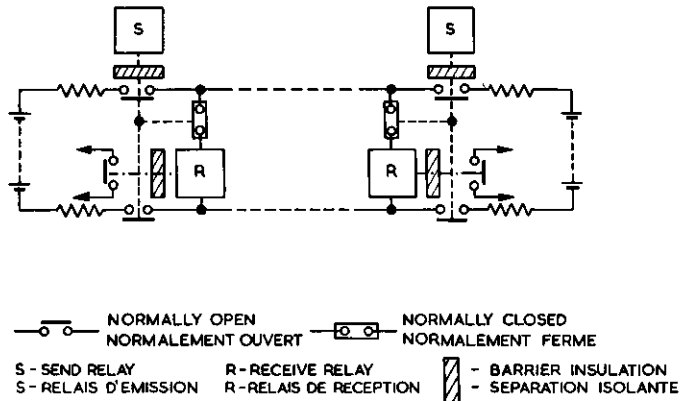


Figure 3.3 - Schéma de base d'un équipement simplifié d'interdéclenchement bilatéral (téléclenchement)

Dans de nombreux cas, il est nécessaire d'assurer une plus grande immunité aux bruits (par exemple sonnerie, impulsions de numérotation, diaphonie etc...) en codant de façon convenable le signal. (De tels systèmes sont très utilisés en Grande-Bretagne mais beaucoup moins dans les autres pays). Le code peut être réalisé sous forme d'un train d'impulsions de tension continue de polarité et (ou) d'amplitude variable. Le récepteur est conçu pour distinguer le bon code parmi tous les autres. Dans certains cas, l'équipement peut être prévu pour envoyer deux informations différentes ou plus, si en outre les deux informations se présentent simultanément, l'une d'elles aura toujours la priorité, l'autre étant transmise immédiatement derrière elle.

Dans certains cas, en particulier en Grande-Bretagne, on utilise des relais spéciaux capables de supporter de forts niveaux de tensions induites par le réseau sans fonctionner intempestivement et pourtant capables de fonctionner correctement dans de telles conditions lorsque la tension continue est transmise. Des exemples classiques d'utilisation de tels relais sont indiqués figures 3.4 et 3.5. Outre ces dispositifs de protection contre les surtensions le relais "émission" ainsi que le relais "réception" sont dotés d'un surisolement entre la bobine et les contacts, le rôle de cet isolement étant de protéger l'équipement terminal contre de telles surtensions induites ou contre des surtensions dues à une élévation possible du potentiel de terre du poste en cas de défaut à la terre. La tension d'isolement est généralement de 1 à 5 kV efficaces et les dispositifs de protection contre les surtensions sont basés sur des tensions de même ordre de grandeur apparaissant comme des signaux perturbateurs. Le temps total de fonctionnement des relais protégés contre les surtensions est de l'ordre de 150 à 200 ms.

La transmission "non protégée" d'une tension continue fonctionnant avec de simples relais de type téléphonique peut être utilisée sur des fils pilotes jusqu'à des distances de 2 km environ (voir section 2.3.2.1). Le temps total de fonctionnement d'un tel système sera généralement de 20 à 30 ms de l'alimentation du relais "émission" à la fermeture des contacts du relais "réception".

Pour des systèmes utilisant un codage du signal, le temps total de transmission peut être de l'ordre de 0,2 à 1 seconde, la vitesse que l'on peut atteindre étant limitée par la largeur de bande des circuits.

3.2.1.1 - Direct Current Signalling

This form of signalling is often used for intertripping, see Section 2.3.2.1. A simple one-way system is shown schematically in figure 3.2. The operation of a "send" relay S applies to the signalling circuits a d.c. voltage which actuates the "receive" relay R at the remote end. The transmission is thus in the form of an on-off d.c. signal. Where both-way signalling is required an arrangement such as is shown in figure 3.3 is often used. Operation of the "send" relay at either end applies voltage to the signalling circuits and, in addition, disconnects the local "receive" relay.

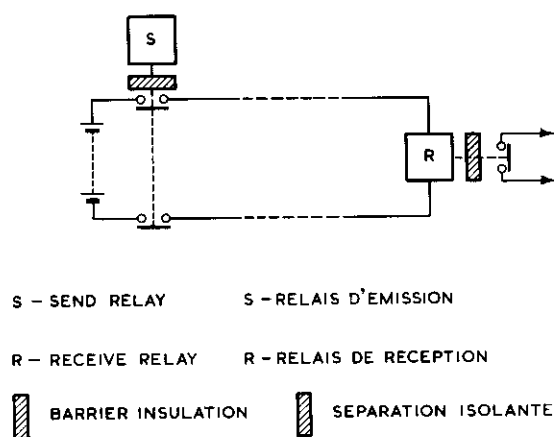


Figure 3.2 - Basic arrangement of simple one-way intertripping (transfer tripping) equipment

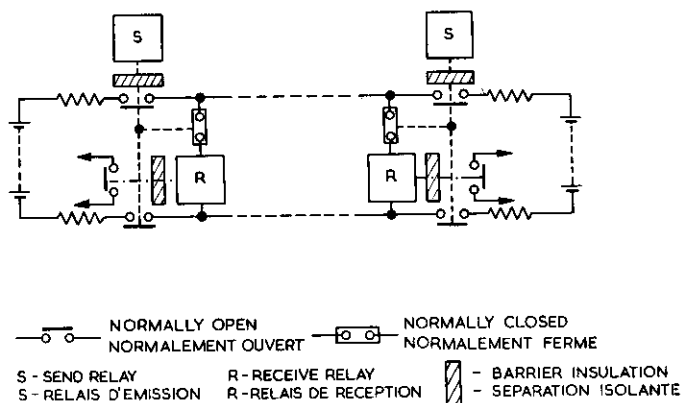


Figure 3.3 - Basic arrangement of simple two-way intertripping (transfer tripping) equipment

In many cases it is necessary to ensure a greater degree of immunity from effects of interference (e.g. ringing, dialling impulses, cross-talk etc.) by the use of suitable coding of the signal. (Such systems are widely used in Britain but to a lesser extent in other countries). Codes may be in the form of a train of d.c. pulses of varying polarity and/or amplitude. The receiving equipment is designed to discriminate against all codes except the genuine one. In some cases the equipment may be used to send two or more individual signals and in the event of both signals being initiated simultaneously one will always take precedence, the second being transmitted immediately after it.

In some cases, especially in Great Britain, special relays are used which are capable of withstanding high values of induced power frequency voltage without operating incorrectly and yet be able to operate correctly under such conditions when the d.c. signal is transmitted. Typical examples of the use of such relays are shown in figures 3.4 and 3.5. In addition to these "surgeproof" features, barrier insulation is provided between the coil and contacts of both the "send" relay and the "receive" relay, the function of this insulation being to protect the terminal equipment against such induced overvoltages or those due to possible rise in station earth potential under earth fault conditions. The insulation level is generally from 1 to 5 kV r.m.s. and the surgeproofing features are based on similar voltages appearing as an interference signal. The overall signalling time of surgeproof relays is in the order of 150 to 200 ms.

"Unprotected" d.c. signal transmission using simple telephone type relays may be used for pilots up to the order of 2 km (see Section 2.3.2.1). The overall signalling time for such an arrangement would be typically 20 - 30 ms. from energisation of the "send" relay to closure of the "receive" relay contacts.

With systems using coding of the signal, the overall transmission time may be of the order of 0.2 - 1.0 sec., the attainable speed being limited by the bandwidth of the circuit.

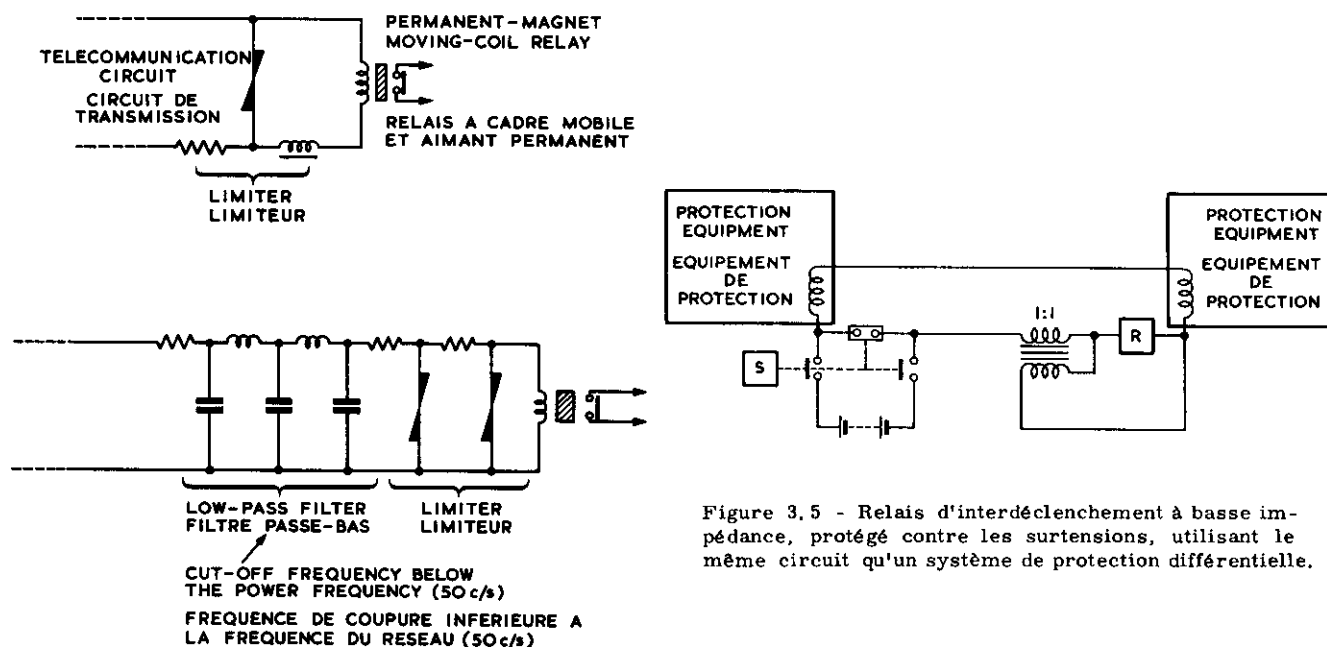


Figure 3.4 - Agencement type d'un relais protégé contre les surtensions.

Figure 3.5 - Relais d'interdéclenchement à basse impédance, protégé contre les surtensions, utilisant le même circuit qu'un système de protection différentielle.

Dans certains pays, la difficulté croissante d'obtenir des P.T.T. des circuits en location qui permettent la transmission de tensions continues, rend par conséquent l'utilisation des systèmes à fréquences vocales plus intéressante.

3.2.1.2 - Systèmes utilisant la fréquence du réseau

L'utilisation de fils pilotes pour la protection différentielle a déjà été décrite dans la section 2.2.2. Quelques-unes des caractéristiques importantes des fils pilotes en fonction de la conception et de la réalisation de ces protections ont déjà été indiquées. La section 3.1 ci-dessus a traité de points qui sont également applicables à l'utilisation de fils pilotes pour la protection différentielle. L'utilisation de la fréquence du secteur pour commander une protection remonte à de nombreuses années. Bien que, sur le plan de la transmission de l'information, ce système ait des limites précises et soit sensible à des perturbations à la même fréquence que le signal utile, la simplicité, le faible coût et la sécurité de fonctionnement relativement grande de l'équipement terminal le rendent encore intéressant dans certains pays. Le niveau des signaux est généralement élevé en comparaison de ceux utilisés normalement dans les télécommunications de façon à obtenir un rapport signal au bruit adéquat dans des conditions ambiantes difficiles. Ces points ont une influence sur le type des circuits qui peuvent être utilisés de façon satisfaisante (par exemple conducteurs souterrains ou aériens). Ils sont aussi importants en ce qui concerne les règlements limitatifs qui prévalent dans certains pays et également en ce qui concerne les moyens d'assurer la protection des fils pilotes contre les surtensions induites. Puisqu'il s'agit d'appareils protégeant contre les surtensions, il faut considérer l'effet du fonctionnement de tels appareils sur le fonctionnement de la protection.

La section 2.2.2. a montré l'importance des paramètres des fils pilotes en fonction de la conception et de la réalisation du système de protection. Les tableaux 3-3, 3-4 et 3-5 donnent des indications sur les propriétés des circuits pilotes usuels. (Des indications sur la vitesse de propagation sont données dans le tableau 4-4).

3.2.1.3 - Systèmes à fréquences vocales et à courants porteurs

Ces deux systèmes sont exposés ensemble du fait que, du point de vue des usagers, la seule différence importante entre eux est la bande de fréquence disponible qui peut être fournie.

Le problème des courants porteurs sur les lignes de transport d'énergie sera traité séparément (voir section 3.3). Les caractéristiques des circuits à basse fréquence usuels autorisent la transmission de signaux dans la plage 300 Hz - 3000 Hz environ. (Dans certains cas la transmission de tensions continues est également possible).

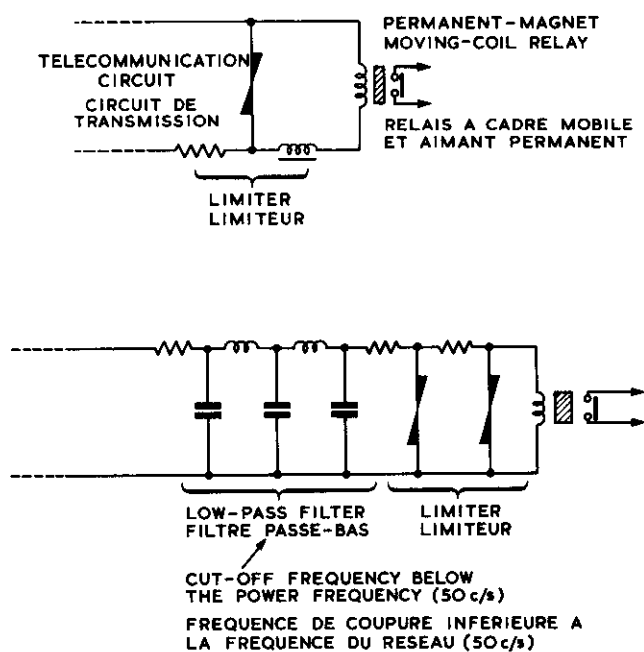


Figure 3.4 - Typical design of surge-proof relays

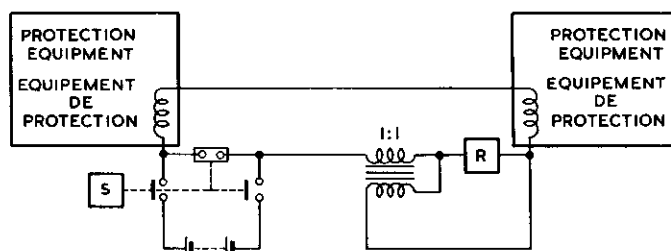


Figure 3.5 - Low impedance surge-proof intertripping relay sharing the circuit of a differential protection scheme

In some countries there is a tendency for rented P. T. T. wires capable of providing d.c. transmission to become less readily available thus making the use of voice frequency systems more attractive in these cases.

3.2.1.2 - Power Frequency Systems

The application of pilot wires to differential protection has already been described in Section 2.2.2. Some of the important characteristics of pilot wires in relation to the design and application of such protection have already been mentioned. Section 3.1 above deals with aspects which are also applicable to the use of pilot wires with differential protection. The use of power frequency for protection signalling dates back for many years. Although, in terms of information transmission, it has definite limitations and is susceptible to interference of the same frequency as the desired signal, the simplicity, economy and relatively high reliability of the terminal equipment continues to make it attractive in some countries. Signal levels are generally high in comparison with normal telecommunication practice in order to derive an adequate signal-to-noise ratio in a difficult environment. These aspects influence the types of link which can be used satisfactorily (e.g. underground or overhead conductors). It is also important in relation to the restricting regulations which prevail in various countries and also the means of protecting the insulation of the pilot wires from induced overvoltages. In respect of overvoltage protecting devices it is necessary to consider the effect of the operation of such devices on the functioning of the protection.

Section 2.2.2 has shown the importance of the pilot wire parameters in relation to the design and application of the protection system. The Tables 3-3, 3-4, and 3-5 give information on typical pilot circuit properties. (Information on velocity of propagation is given in Table 4.4).

3.2.1.3 - Audio and Carrier Frequency Systems

These two systems are dealt with together because, from the users viewpoint, the only marked difference between the two lies in the available signalling bandwidth which can be provided.

Carrier current on high voltage lines is treated separately, see Section 3.3. The characteristics of typical audio circuits permit the transmission of signals normally in the range approximately 300 Hz to 3000 Hz. (In some cases transmission at d.c. is also possible).

TABLEAU N° 3-3

PROPRIETES USUELLES DES CABLES DE TELECOMMUNICATIONS

Type de câble	Diamètre en mm	Atténuation en dB/km pour différentes fréquences (kHz)							Temps de propagation en ms/100 km à 1 kHz (valeur approchée)	Impédance Z_0 en ohms (valeur approchée)
		0,8	2	3,6	6	10	30	100		
en cuivre non pupinisé	0,9	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,9	2,8	0,43	600 à 130 variable suivant la fréquence
	1,3	0,4	0,55	0,65	0,75	0,9	1,3	2,1		
en cuivre pupinisé 44 mH/1800 m	0,9	0,29	0,3	0,31					3	800 à 1 kHz
en cuivre pupinisé 88 mH/1800 m	0,9	0,22	0,23	0,29					3,8	1200 à 1 kHz
en cuivre pupinisé 172 mH/1800 m	0,9	0,17	0,2						5,7	1700 à 1 kHz

1 dB/100 km = 0,016 dB/mile
 (1 mile = 1,609 km)
 (1 km = 0,6214 mile)

TABLEAU N° 3-4

CABLES DE TELECOMMUNICATIONS NON PUPINISES

Type de câble	Longueurs usuelles en km	Diamètre du conducteur en mm	Résistance de boucle en courant continu, en ohms par km	Atténuation à 1 kHz		Capacité par km en μF
				dB/km	mN/km	
isolés au papier - air	0 - 56	1,27	27,4	0,498	57,5	0,038
	0 - 50	1,12	34,5	0,56	65	0,038
isolés au papier imprégné	0 - 40	1,27	27,4	0,7	80	0,0745
	0 - 35	1,12	34,5	0,775	90	0,0745
isolés au polyéthylène	0 - 46,5	1,27	27,4	0,603	70	0,056
	0 - 41,6	1,12	34,5	0,67	90	0,056

TABLEAU N° 3-5

CABLES DE TELECOMMUNICATIONS PUPINISES A 88 mH POUR 1,82 km

Type de câble	Longueurs usuelles en km	Diamètre du conducteur en mm	Résistance de boucle en courant continu en ohms par km	Atténuation à 1 kHz		Capacité par km en μF
				dB/km	mN/km	
isolés au papier - air	50 - 236	1,27	30	0,118	13,6	0,038
	50 - 200	1,12	37	0,143	16,6	0,038
isolés au papier imprégné	40 - 173	1,27	30	0,168	18,7	0,0745
	35 - 141	1,12	37	0,199	23,0	0,0745
isolés au polyéthylène	46 - 203	1,27	30	0,1365	15,8	0,056
	41 - 160	1,12	37	0,174	20,1	0,056

1 dB/100 km = 0,016 dB/mile
 1 mile = 1,609 km
 1 km = 0,6214 mile

TABLE No. 3-3

TYPICAL PROPERTIES OF SIGNALLING CABLES

Type of Cable	Dia. mm	Attenuation dB/km for Frequency kHz							Propagation time ms/100 km approx. at 1 kHz	Approximate Z_0 ohm
		0.8	2.0	3.6	6	10	30	100		
Copper, non-loaded	0.9	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.9	2.8	0.43	600 - 130 (variable with frequency)
	1.3	0.4	0.55	0.65	0.75	0.9	1.3	2.1		
Copper, loaded 44 mH/1800 metres	0.9	0.29	0.3	0.31					3	800 at 1 kHz
Copper, loaded 88 mH/1800 metres	0.9	0.22	0.23	0.29					3.8	1200 at 1 kHz
Copper, loaded 172 mH/1800 metres	0.9	0.17	0.2						5.7	1700 at 1 kHz

1 dB/100 km = 0.016 dB/mile

TABLE No. 3-4

SIGNALLING CABLES - UNLOADED

Type of Cable	Typical Route km	Conductor Size mm	D.C. Resistance ohms/loop km	Attenuation at 1 kHz		Capacity per km μ F
				dB/km	mN/km	
Paper insulated semi-air-spaced	0-56	1.27	27.4	0.498	57.5	0.038
	0-50	1.12	34.5	0.56	65	0.038
Impregnated paper insulated	0-40	1.27	27.4	0.7	80	0.0745
	0-35	1.12	34.5	0.775	90	0.0745
Polythene insulated	0-46.5	1.27	27.4	0.603	70	0.056
	0-41.6	1.12	34.5	0.67	90	0.056

TABLE No. 3-5

SIGNALLING CABLES - LOADED 88 mH AT 1.82 km

Type of Cable	Typical Route km	Conductor Size mm	D.C. Resistance ohms/loop km	Attenuation at 1 kHz		Capacity per km μ F
				dB/km	mN/km	
Paper insulated semi-air-spaced	56-236	1.27	30	0.118	13.6	0.038
	50-200	1.12	37	0.143	16.6	0.038
Impregnated paper insulated	40-173	1.27	30	0.168	18.7	0.0745
	35-141	1.12	37	0.199	23.0	0.0745
Polythene insulated	46-203	1.27	30	0.1365	15.8	0.056
	41-160	1.12	37	0.174	20.1	0.056

1 km = 0.6214 mile

1 dB/100 km = 0.016 dB/mile

Les systèmes de téléprotection à basse fréquence actuels utilisent souvent l'un ou l'autre des procédés ci-après pour la transmission d'une information binaire (de plus amples informations ont été données dans la section 3.1.2.1).

- (a) Modulation par tout ou rien d'une porteuse BF c'est-à-dire modulation d'amplitude
- (b) Déplacement de fréquence d'un signal BF de f_1 à f_2
- (c) Déplacement de phase d'un signal BF
- (d) Déplacement de fréquence à quatre fréquences (modulation F 6).

Nota - différents types de modulation sont souvent repérés par des lettres de référence, voir Glossaire, section 8.2.1).

Une meilleure protection contre les ordres intempestifs peut être obtenue en codant les signaux (voir section 3.1.1.4, plus haut) qui sont alors transmis par l'une des méthodes ci-dessus.

Les systèmes BF, qui ont une largeur de bande de 3 kHz, peuvent généralement permettre des vitesses de transmission de 1 500 à 2 000 bauds, et sont classiquement divisés en plusieurs canaux de 120 Hz, chacun d'eux ayant une vitesse de l'ordre de 50 bauds (voir la définition du baud dans le Glossaire).

Un cas particulier de transmission en basse fréquence appliqué à la téléprotection est celui qui utilise une fréquence comprise entre celle du réseau et la plus basse de la plage des audio-fréquences. Cette méthode, qui est moins sensible aux tensions induites sur les fils pilotes, est indiquée figure 3.6. Une source E fournit un signal à une fréquence supérieure à celle du réseau, par exemple 175 Hz, qui alimente les relais "réception" R des deux extrémités qui sont accordés sur cette fréquence. Ces relais sont ainsi normalement alimentés. Le fonctionnement du relais "émission" à l'une ou l'autre des extrémités met au repos les relais "réception" aux deux extrémités. L'action du relais "réception" à l'extrémité qui a émis l'ordre peut être empêchée si on le désire par l'intermédiaire d'un contact normalement fermé du relais "émission". L'utilisation de relais accordés procure une très bonne protection contre les tensions induites à la fréquence du réseau et les transformateurs d'isolement protègent les équipements terminaux contre les surtensions. L'utilisation de relais normalement alimentés permet une certaine surveillance du circuit pilote. Un court-circuit entre les fils pilotes provoquera une défaillance en cas de fonctionnement nécessaire. Un circuit ouvert provoquera une fermeture intempestive des contacts du relais "réception".

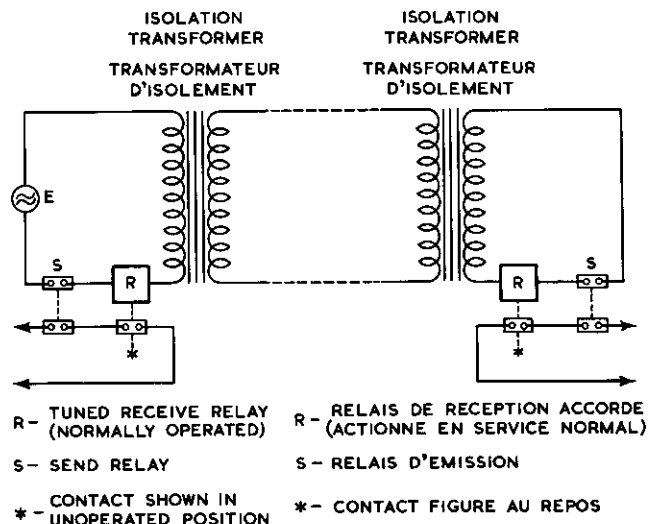


Figure 3.6 - Schéma d'interdéclenchement protégé contre les surtensions, utilisant des relais accordés connectés en série

Si la source d'information a elle-même une bande plus large que celle que l'on peut loger sur un canal à fréquence vocale, il est alors nécessaire d'utiliser une liaison à plus large bande. Une telle liaison peut être obtenue en utilisant un câble coaxial. Grâce à sa large bande plusieurs sources d'information peuvent être multiplexées (voir 3.1.2.3 ci-dessus) sur la même liaison coaxiale ou, si la largeur de bande de la source l'exige, une fréquence porteuse

Present day audio frequency teleprotection systems often use one or other of the following signalling methods for the transmission of two-state information : (Further details are given in 3.1.2.1).

- (a) Simple on-off keying of an AF carrier i. e. amplitude modulation.
- (b) Frequency shift of an AF carrier between frequencies f_1 and f_2 .
- (c) Phase shift of an AF carrier.
- (d) By 4-frequency-shift of the AF carrier (F6 modulation).

(Note : various types of modulation are often referred to by code letters, see Glossary, Section 8.2.1.)

Improved ability to withstand unwanted operation may be obtained by coding the signals (see 3.1.1.4 above) which are then transmitted by one of the above methods.

Audio systems having a 3 kHz bandwidth can typically provide transmission speeds of 1500 - 2000 bauds, and are commonly subdivided into several 120 Hz channels each having a speed of some 50 bauds. (For definition of "baud" see Glossary).

A special case of audio signalling as applied to teleprotection, is that which works at a frequency between that of the power system and the lower end of the audio range. This method, which achieves reduced susceptibility to induced voltages in pilot wires is shown in figure 3.6. A source E provides a voltage at a frequency above power frequency, e.g. 175 Hz and this energises both "receive" relays R which are tuned to this frequency. These relays are thus normally operated. Operation of the "send" relay at either end causes both "receive" relays to reset. The action of the "receive" relay at the sending end can be inhibited if required through a normally closed contact on the "send" relay. The use of tuned relays provides a high degree of power frequency induction rejection and the isolation transformers protect the terminal equipment against overvoltages. The use of normally energised relays provides some degree of supervision of the pilot wire. A short-circuit between the pilot wires will result in failure to operate when required to do so. An open circuit will cause unwanted closure of the "receive" relay contacts.

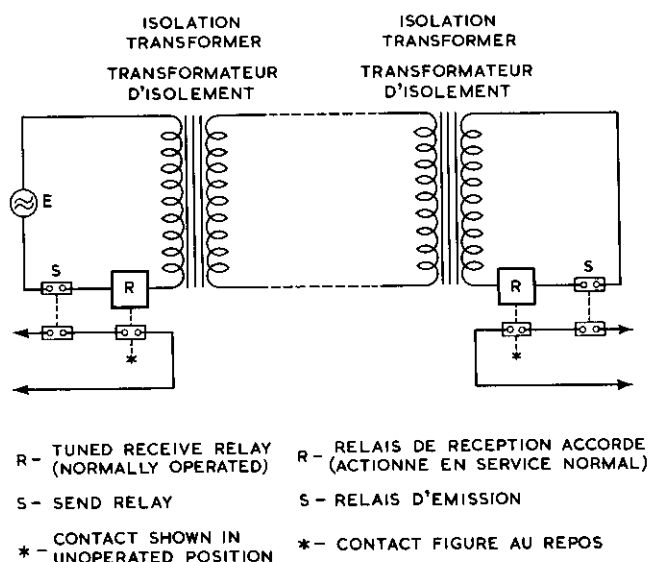


Figure 3.6 - Surge-proof intertripping scheme using series-connected tuned relays

If the information source is itself of wider bandwidth than can be accommodated on a voice channel, then it is necessary to employ a link of some wider bandwidth. Such a link can be obtained by the use of a co-axial cable. Because of the inherently wide bandwidth, several information sources can be multiplexed (see 3.1.2.3 above) on the same co-axial link, or, if

peut elle-même être modulée par des signaux à fréquence vocale (comme en 3.1.2.2. (b) ou être modulée par tout ou rien (comme en 3.1.2.2. (a)). Bien que n'étant pas d'un usage courant actuellement, n'importe laquelle des méthodes de modulation dont la liste est en 3.1.2.2 pourrait être utilisée sur une telle liaison.

Les systèmes à audio-fréquence aussi bien que les courants porteurs sont meilleurs que la transmission à la fréquence du réseau parce que le bruit prédominant qui est dû aux perturbations à cette fréquence peut être plus efficacement filtré.

Le déplacement de fréquence et le déplacement de phase fournissent une meilleure protection contre le bruit que la modulation d'amplitude par tout ou rien. Le déplacement de fréquence cependant est plus généralement utilisé que le déplacement de phase à des fins de téléprotection et c'est pourquoi il est traité en détail ci-dessous. Il faut noter que des signaux BF modulés en amplitude par tout ou rien ou à déplacement de fréquence peuvent moduler directement une fréquence porteuse ou une sous-porteuse qui à son tour module la porteuse principale. Dans le cas d'une information binaire codée, toutes les méthodes précédentes de modulation peuvent être utilisées pour transmettre cette information codée.

Un système usuel à déplacement de fréquence pour un seul canal unilatéral est montré schématiquement sur la figure 3.7. L'équipement émetteur comprend un relais "émission" E, un oscillateur unique à la fréquence porteuse avec un dispositif permettant de déplacer la fréquence, un amplificateur de puissance PA et un filtre passe bande TBPF. L'équipement récepteur comprend un filtre passe bande RBPF. L'équipement de fréquence FC, un discriminateur et un relais réception R.

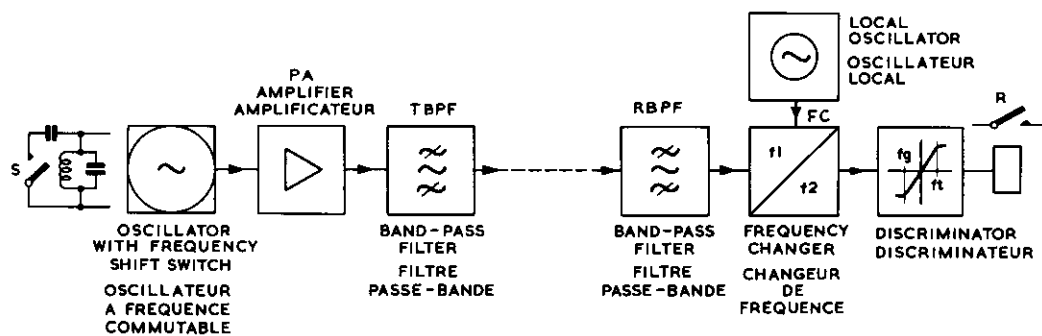


Figure 3.7 - Système à déplacement de fréquence utilisant un seul oscillateur et un récepteur à discriminateur de fréquence

Il peut quelquefois être nécessaire d'envoyer deux signaux de protection sur le même circuit de télécommunications. Bien que des systèmes fonctionnant à différentes fréquences, tels ceux de la figure 3.7, puissent être utilisés, on trouve plus judicieux d'utiliser un quadruple déplacement de fréquences (voir figure 3.8). Cela peut se présenter par exemple dans le cas du déclenchement interdépendant des deux disjoncteurs éloignés d'une ligne à deux ternes. Avec un tel système il est possible de transmettre chacun des signaux (ou les deux) en un temps d'environ 10 ms. La modulation est faite par un émetteur (1) dont la fréquence peut prendre quatre valeurs discrètes selon l'état des contacts de commande SI et SII. Ainsi par exemple la fermeture du contact SI déplace la fréquence de la fréquence de veille f_1 à f_2 , ce qui fait déclencher le disjoncteur éloigné de l'un des ternes. La fermeture du contact S II provoque un déplacement de fréquence de f_1 à f_3 qui fait déclencher l'autre disjoncteur. La fermeture simultanée des deux contacts SI et S II produit un déplacement de fréquence de f_1 à f_4 qui fait déclencher les deux disjoncteurs. Côté récepteur, le signal reçu est amplifié jusqu'au niveau adéquat et écrêté à l'aide de l'amplificateur (2). Le fait d'écrêter le signal assure d'obtenir à la sortie de l'amplificateur un niveau qui ne dépend pas des variations d'affaiblissement du circuit de télécommunications. Cela évite la nécessité d'un contrôle automatique de gain et cela est particulièrement utile là où les variations d'affaiblissement peuvent être considérables, par exemple lorsque ce système est utilisé avec des courants porteurs sur les lignes d'énergie. La sortie de l'amplificateur est reliée à un démodulateur (3) qui attaque une logique du type "un parmi quatre" (4), qui vérifie qu'une seule des fréquences est reçue et s'il en est ainsi, fournit un signal aux relais de réception associés (5 a et 5 b). Ces relais sont bloqués en l'absence d'un signal de veille,

the source bandwidth demands, a carrier frequency may itself be modulated with voice frequency signals (as in 3.1.2.2 (b)) or alternatively can be keyed (as in 3.1.2.2 (a)). Although not commonly employed at present any of the modulation methods listed in 3.1.2.2 could be used on such a link.

Both audio and carrier systems are superior to power frequency transmission because the predominant noise due to power frequency interference can be more effectively filtered.

Frequency shift and phase shift keying give a better discrimination against noise than carrier on/off keying. Frequency shift however, is much more widely used than phase shift for teleprotection purposes and on this basis is dealt with in detail below. It should be appreciated that keyed or frequency shifted AF carriers can be modulated directly onto a carrier frequency or on a sub-carrier which in turn modulates the main carrier frequency. In the case of on/off information which is coded, all the above methods of signalling can be used for transmitting the coded information.

A typical frequency-shift system for single-channel one-way signalling is shown schematically in figure 3.7. The transmitting equipment includes a "send" relay S, a common carrier frequency oscillator with means for shifting the frequency, a power amplifier PA and a band pass filter TBPf. The receiving equipment includes a band pass filter RBPF, a frequency changer FC, a discriminator and a receive relay R.

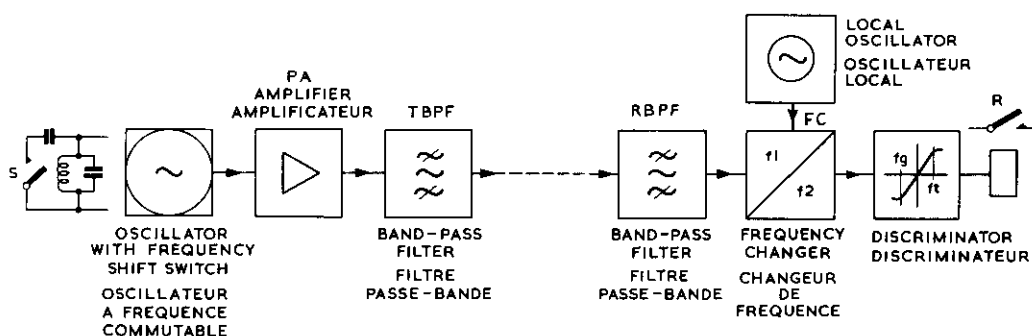


Figure 3.7 - Frequency shift system employing single oscillator and receiver with frequency discriminator

It may sometimes be necessary to send two protection signals over the same telecommunication circuit. Although two systems such as in figure 3.7 operating at different frequencies may be used, it is considered advisable to use 4-frequency shift keying as shown in figure 3.8. Such a case could occur, for example, in the intertripping of the two remote circuit-breakers of a double circuit line. With such a system it is possible to transmit each of the signals (or both) within a period of about 10 ms. The signalling is effected by a transmitter (1) the frequency of which can be shifted between four different values, depending on the state of the initiating contacts SI and SII. Thus for example, contact SI shifts the standby frequency f_1 to f_2 and so intertrips the remote breaker of one of the two circuits. Contact SII causes a shift from f_1 to f_3 which intertrips the other circuit-breaker. Operation of both contacts SI and SII results in a shift of frequency from f_1 to f_4 which initiates the tripping of both circuit-breakers. At the receiving end, the incoming signal is raised to the required level and limited in amplifier (2). Limiting ensures a level at the output of the amplifier which is independent of variation in attenuation of the telecommunication circuit. This may dispense with the need for automatic gain control and is especially useful where variations in attenuation can be considerable, for example, when this system is used with power line carrier. The output of the amplifier is connected to the demodulator (3) which feeds a 1-out-of-4 supervision circuit (4) which checks whether only one of the possible four frequencies is received and if so, supplies a signal to the associated receive relays (5a and 5b). These relays are blocked in the absence of a guard

c'est-à-dire lorsque l'émetteur ou le récepteur sont défectueux ou lorsque le circuit de télécommunications tombe en panne. Ils sont aussi bloqués lorsque le bruit produit à l'entrée du détecteur plus que l'une des fréquences spécifiques qui doivent être recues.

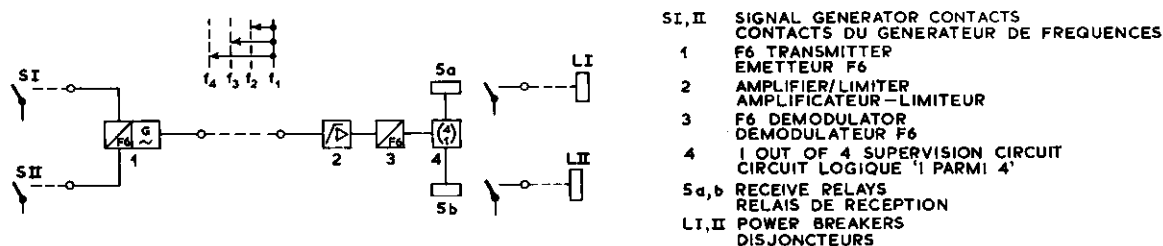


Figure 3.8 - Système à déplacement de fréquence à quatre fréquences

Puisqu'on ne transmet qu'une seule fréquence, il est possible d'utiliser complètement la puissance crête de sortie autorisée, par exemple par les règlements limitatifs ou les possibilités des amplificateurs intermédiaires. Egalement, l'amplitude des impulsions de bruit de fort niveau (voir 3.1.1.1.) est effectivement limitée et son influence est neutralisée dans toute la bande utile. En conséquence, la portée de la transmission est allongée, ou le rapport signal sur bruit est amélioré, de quelque 6 dB par rapport aux résultats obtenus avec un système à déplacement de fréquence dans lequel les deux signaux sont transmis sous forme de deux fréquences séparées occupant chacune la moitié de la bande.

L'exemple d'un système plus élaboré est indiqué par la figure 3.9. L'émetteur est du même genre que celui de la figure 3.7 mais il comporte deux oscillateurs aux fréquences f_1 et f_2 qui l'un ou l'autre attaquent l'amplificateur de puissance PA à travers le contact inverseur S.

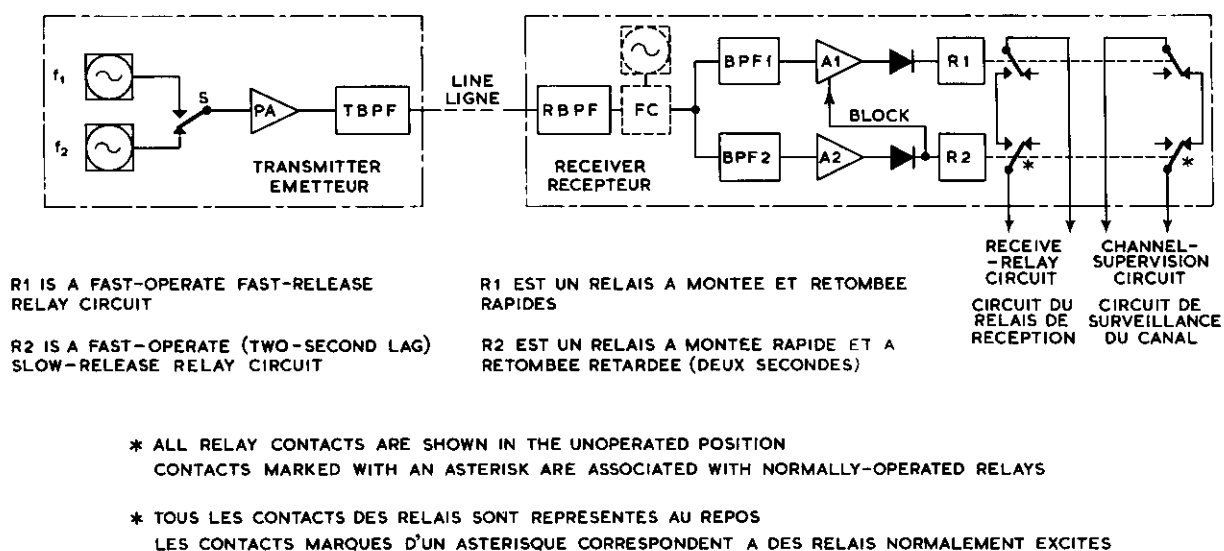


Figure 3.9 - Equipement de transmission de signaux par déplacement de fréquence avec surveillance du canal

Le récepteur comprend par conséquent deux filtres passe bande étroits BPF_1 et BPF_2 , deux amplificateurs A_1 et A_2 , deux étages détecteurs et deux circuits de relayage R_1 et R_2 . Le relais R_1 est un relais rapide au collage et à la retombée tandis que R_2 est rapide au collage et temporisé à la retombée. Des systèmes de ce genre sont largement utilisés et leur fonctionnement est par conséquent décrit plus en détail dans les paragraphes suivants :

Quand le relais "S" n'est pas excité, la fréquence de veille f_2 est transmise en permanence et le relais R_2 excité en permanence. Les contacts de ce relais dans le circuit récepteur sont fermés et ceux du circuit de surveillance sont ouverts. La sortie de l'amplificateur A_2 bloque l'amplificateur A_1 et par conséquent empêche le fonctionnement du relais R_1 sous l'action du bruit reçu. Quand le relais "S" est excité, la fréquence f_2 disparaît et est rem-

signal, i.e. when the transmitter or receiver is faulty or when the telecommunication circuit fails. They are also blocked when noise causes more than one of the specific frequencies to be received at the input of the demodulator.

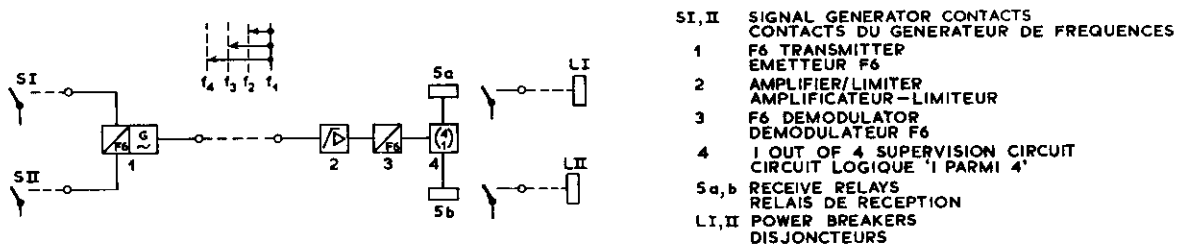


Figure 3.8 - 4-frequency-shift system

Since only one frequency is transmitted it is possible to utilise fully the peak output power permitted, for example, by restricting regulations or the capabilities of intermediate amplifiers. Also, the amplitude of high level pulses of noise (see 3.1.1.1) is effectively limited and its influence neutralised within the total useful bandwidth. As a result, the transmission range or the signal-to-noise ratio is some 6 dB better than that obtained with a frequency shift keying system in which the two signals are transmitted in the form of two separate frequencies each at half the bandwidth.

An example of a more elaborate scheme is shown in figure 3.9. The transmitter is of the same type as in figure 3.7 but comprises two oscillators of frequencies f_1 and f_2 which are selected to the power amplifier PA through the changeover contact S.

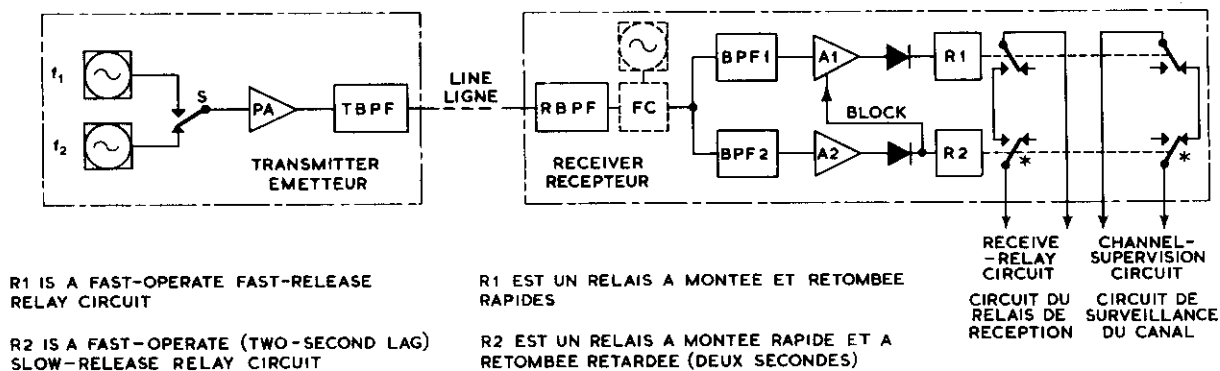


Figure 3.9 - Frequency-shift signalling equipment with channel supervision

The receiver comprises, in addition, two narrow band pass filters BPF_1 and BPF_2 , two signal amplifiers A_1 and A_2 , two signal rectifiers and two relay circuits R_1 and R_2 . The relay circuit R_1 has a fast operate, fast release characteristic and R_2 has a fast operate and slow release characteristic. Schemes of this type are widely used and the function is therefore described in more detail in the following paragraphs.

With relay 'S' unoperated, the guard frequency f_2 is continuously transmitted and relay R_2 is continuously energised. Contacts on this relay are closed in the receive circuit and opened in the supervision circuit. Output from the A_2 amplifier blocks the A_1 amplifier and thus prevents operation of the R_1 relay by received noise. On operation of relay 'S', frequency f_2 is

placé par la fréquence f_1 . Le niveau de sortie de l'amplificateur A_2 tombe à zéro ce qui débloquent l'amplificateur A_1 et par conséquent autorise le fonctionnement du relais R_1 . La retombée du relais R_2 est légèrement temporisée, permettant ainsi la fermeture du circuit de réception. Le circuit de surveillance reste effectivement ouvert puisque la réponse de celui-ci n'a pas besoin d'être rapide. Les dispositions suivantes de ce genre de système méritent d'être notées :

- (a) Le fonctionnement du récepteur n'a lieu que si la fréquence de veille f_2 , étant présente auparavant, disparaît et est remplacé par f_1 .
- (b) Un fonctionnement intempestif dû au bruit n'est possible que si les caractéristiques du bruit sont telles qu'il annule la fréquence de veille f_2 , et, en même temps, simule la fréquence f_1 .
- (c) Le non-fonctionnement ou un retard au fonctionnement dus au bruit ne sont possibles que si les caractéristiques du bruit sont telles qu'il simule la fréquence de veille f_2 , annule la fréquence transmise f_1 ou les deux.
- (d) La disparition ou l'altération de la fréquence transmise f_1 ne peuvent arriver que si le niveau de bruit est suffisamment élevé pour saturer le récepteur. Il est nécessaire de tenir compte de cette éventualité dans la conception du récepteur et de ses circuits écrêteurs associés.
- (e) La surveillance permanente du circuit de transmission et de l'équipement à la fréquence de veille est obtenue par l'émission ininterrompue de la fréquence de veille. Si elle disparaît, le circuit de surveillance donne une alarme et précise la panne (avec une courte temporisation), et empêche également le fonctionnement du récepteur.
- (f) L'étage de changement de fréquence FC n'est pas obligatoire mais son utilisation est avantageuse car elle permet d'avoir des filtres BPF₁ et BPF₂ à fréquence fixe et indépendants de la fréquence porteuse. Ceci peut être particulièrement utile dans le cas des courants porteurs sur les lignes d'énergie.

Un équipement classique utilise un déplacement de fréquence ($f_2 - f_1$) égal à 500 Hz suivi d'un changement de fréquence tel que ces fréquences deviennent 20,0 kHz et 20,5 kHz pour les fréquences centrales des filtres de bande. Comme les systèmes BF sont équipés de filtres de bande aussi bien à l'extrémité réception qu'à l'extrémité émission, on peut placer plusieurs canaux en parallèle et dans les deux sens sur le même circuit deux fils. On obtient des temps de fonctionnement de 30 à 40 ms suivant la longueur de la voie de télécommunications (voir tableau 4.4).

3.2.2 - Types de circuits

Les caractéristiques usuelles des lignes aériennes et des câbles de télécommunications souterrains et aériens sont données par les tableaux 3-4, 3-5 et 3-6. Des informations complémentaires concernant par exemple les distances pouvant être couvertes et les vitesses de transmission sont données dans les tableaux 4-1 et 4-4. Mis à part le choix d'une fréquence convenable (voir tableau 3.1), le choix d'un type donné de conducteurs auxiliaires pour un système de téléprotection est fonction des exigences du système de protection lui-même (voir section 2) et des exigences du système de télécommunications. De ce fait, les points importants sont les suivants :

- (a) Le diamètre des fils de télécommunications (aériens ou câbles souterrains) qui influe surtout sur l'affaiblissement
- (b) L'éloignement des installations haute tension, en particulier des lignes aériennes à haute tension, qui influe sur le niveau des tensions induites et les exigences d'isolement.
- (c) Le niveau maximal admis pour le signal, qui influe surtout sur le rapport signal sur bruit
- (d) Les règlements limitatifs (voir section 3.2.5) qui influent sur le rapport signal sur bruit, les exigences d'isolement et le choix des fréquences.
- (e) La nécessité d'avoir recours à des mesures de protection des câbles ou des fils (voir section 3.2.6), d'où la possibilité de déséquilibres.
- (f) La qualité de l'isolement des fils de télécommunications ou des transformateurs d'isolement.
- (g) La présence ou non de bobines de charge (voir Glossaire "coil loading", "continuous load", "loading") qui influe sur la vitesse de propagation et l'affaiblissement.

removed and replaced by frequency f_1 . The output of amplifier A_2 drops to zero, unblocks amplifier A_1 and thus permits operation of relay R_1 . The reset of relay R_2 is slightly delayed, thus permitting closure of the receive circuit. The supervision circuit remains effectively open as the response of this circuit need not be fast. The following features of this type of scheme are worth noting.

- (a) Operation of the receive circuit can take place only if the guard frequency f_2 , having been previously present, is removed and replaced by f_1 .
- (b) Spurious operation by noise is only possible if the noise characteristics are such as to cancel the guard frequency f_2 and, at the same time, produce a frequency f_1 .
- (c) Prevention or delay in operation due to noise can occur only if the noise characteristics are such as to produce a guard frequency f_2 , suppress the transmitted frequency f_1 , or both.
- (d) Cancellation or obliteration of the transmitted frequency f_1 can occur only if the noise level is high enough to saturate the receiver. This possibility needs taking into account in the design of the receiver and its associated limiting circuits.
- (e) Continuous supervision of the signalling circuit and the guard frequency equipment is given by the continuous transmission of this frequency. If this fails, the supervision circuit gives alarm and indication of this condition (after a short time delay) and also interrupts the receive circuit.
- (f) The frequency changer FC is optional, but its use can be advantageous as it permits BPF_1 and BPF_2 to be fixed in frequency and independent of the carrier frequency. This can be especially useful in the case of power line carrier.

A typical equipment uses a frequency shift ($f_2 - f_1$) of 500 Hz, with frequency changing such as to give mid-band frequencies of 20.0 kHz and 20.5 kHz for the band pass filters. As AF systems are fitted with band pass filters on both the transmitting and receiving sides, several channels may be used in parallel and in both directions over the same two-wire circuit. Operating times of the order of 30 - 40 ms are achieved depending on route length (see Table 4.4).

3.2.2 - Types of Circuit

Some typical characteristics for open-wire lines, underground communication cables and aerial communication cables are given in Tables 3-4, 3-5 and 3-6. Additional information, for example, coverable distances and transmission speeds is given in Tables 4.1 and 4.4. Apart from suitability in relation to frequency, (see Table 3-1) the choice of a particular system of auxiliary conductors for a scheme of teleprotection is affected by the requirements of the protection system itself (see Section 2) and/or the requirements of the telecommunication method. In this respect, some of the important factors are as follows :

- (a) The diameter of the signalling wires (overhead or underground cable). Attenuation is the main parameter affected.
- (b) The distance from high voltage installations, particularly high voltage overhead lines. Induced interference levels and insulation requirements are affected.
- (c) The maximum permissible level of the signal. Signal-to-noise ratio is the main parameter affected.
- (d) Restricting regulations, see Section 3.2.5. Signal-to-noise ratio, insulation requirements and choice of frequency are affected.
- (e) The need to use protective measures on the cables or wires, see Section 3.2.6. Effect of possible unbalance produced.
- (f) The quality of the insulation of the signalling wires or isolating transformers.
- (g) The presence or not of loading coils (see Glossary, coil loading, continuous load, loading). Speed and attenuation are affected.

Les lignes aériennes présentent relativement peu d'affaiblissement par rapport aux câbles de télécommunications. Les systèmes à fréquence vocale ou à courants porteurs peuvent fonctionner sur des lignes aériennes jusqu'à des fréquences de 300 kHz avec des distances acceptables, 50 km par exemple, entre répéteurs. Elles peuvent être meilleur marché que des câbles de télécommunications lorsqu'elles sont supportées par les mêmes pylônes que la ligne HT. Cependant elles sont sujettes à des tensions induites longitudinales assez grandes et doivent avoir un certain isolement et résister à 5 kV par exemple. Dans beaucoup de cas, il est nécessaire de transposer régulièrement les conducteurs pour atténuer le niveau des signaux parasites produits par les tensions induites.

Les câbles de télécommunications sur des supports séparés ont en général des caractéristiques semblables à celles des câbles souterrains, en particulier pour les distances pouvant être couvertes, les temps de transmission, les largeurs de bande et les règlements limitatifs (voir section 3.2.5). Comme elles dépendent de la distance séparant les câbles et la ligne aérienne, les tensions induites longitudinales dues aux courants de défaut sur le réseau sont généralement faibles.

Les câbles de télécommunications supportés par les pylônes des lignes d'énergie sont utilisés dans certains pays, en particulier sur les lignes de tension assez basse, sur lesquelles la possibilité de gêne due aux tensions induites et de dégâts dus au courant de défaut est plus faible. De tels câbles peuvent être suspendus de place en place à un "câble porteur" ou bien ils peuvent être autoportés. Dans d'autres cas ils sont incorporés dans le câble de garde de la ligne d'énergie (câble de terre avec fils pilotes). Dans les deux cas, ces câbles doivent être protégés contre les tensions induites et les équipements terminaux également. Les réalisations usuelles utilisent un câble à plusieurs conducteurs isolés au polyéthylène recouvert soit d'un blindage d'acier toroné soit d'une gaine d'acier inoxydable. Certains câbles spéciaux ont un blindage supplémentaire comprenant des rubans de cuivre ainsi que des rubans d'acier magnétique. Le choix de l'isolement, de la gaine et des écrans dépend de la disposition relative des câbles et des conducteurs de la ligne d'énergie, de la présence d'un câble de garde et de la valeur des courants de défaut du réseau (voir section 3.2.3). Le choix dépend également du type et des mesures de protection adoptés pour le câble de télécommunications. Dans certains cas on considère que les câbles coaxiaux sont mieux adaptés à ces applications.

Les câbles de télécommunications souterrains ont un affaiblissement considérablement plus important que les lignes aériennes. La largeur de bande est par conséquent plus limitée sauf dans les cas où la technologie du câble permet la transmission de fréquences porteuses. L'affaiblissement peut être réduit par l'utilisation de câbles chargés, mais la faible vitesse de propagation qui en résulte, aussi bien que la largeur de bande limitée, interdisent souvent leur utilisation à des fins de téléprotection.

Des renseignements sur les dimensions des câbles sont donnés par les tableaux 3-4 et 3-5 qui concernent essentiellement les câbles isolés au papier. D'autres dimensions de conducteurs de 0,6 à 1,4 mm de diamètre sont utilisées par les P.T.T. et dans des installations privées. La pupinisation est également appliquée en utilisant des bobines de Pupin de valeurs différentes à des intervalles différents de ceux indiqués par le tableau 3-5. Dans certains cas, une partie seulement des circuits du câble est pupinisée de façon à permettre la transmission de signaux à des fréquences plus hautes sur d'autres circuits passant par le même câble.

On utilise maintenant de plus en plus couramment les câbles isolés au polyéthylène. Ce type de câble a un affaiblissement plus faible, en particulier pour les hautes fréquences grâce à la meilleure qualité du diélectrique. Le meilleur isolement qui peut être obtenu avec des câbles au polyéthylène les rend particulièrement utiles pour les circuits reliant des postes.

Les caractéristiques mentionnées ci-dessus se rapportent à des circuits équilibrés. On peut aussi utiliser des câbles coaxiaux; ils ont des courbes d'atténuation plus faible qui permettent la transmission en haute fréquence sur des distances moyennes sans utiliser d'amplificateurs intermédiaires. Ces câbles sont généralement isolés soit au polyéthylène soit à l'air (ou au gaz).

3.2.3 - Origines et grandeurs du bruit et des perturbations

Les sources de bruit indiquées en 3.1.1.1 influencent dans une certaine mesure les systèmes de télécommunications utilisant des conducteurs auxiliaires bien que leur influence dépende du type du circuit, par exemple lignes aériennes, câbles aériens ou câbles souterrains. En outre, il existe d'autres sources de bruit qui sont les signaux de numérotation et d'appel, la diaphonie et le bruit impulsif des autres liaisons passant par le même câble. Les coups

Open wire lines afford relatively low attenuation compared with communication cables. Voice frequency and carrier systems can be operated on open wire lines at frequencies up to 300 kHz with reasonable distances of, say, 50 km, between repeaters. They can be more economic than communication cables when strung on the same towers as the overhead H. V. line. They will, however, be subject to relatively high longitudinal induced voltages and will need to have reasonable insulation e. g. to withstand 5 kV. For many applications regular transposition of the conductors would be necessary to reduce the spurious signal levels produced by induced voltages.

Telecommunication cables on separate poles are generally similar in characteristics to underground cables, particularly in respect of coverable distances, transmission time, bandwidth and restricting regulations, see Section 3.2.5. Depending on the separation between cables and the overhead line, the longitudinal induced voltages due to primary fault current are generally low..

Telecommunication cables suspended from the transmission line towers are used in some countries, particularly on lower voltage lines where there is less possibility of trouble from induced voltages and damage from fault current. Such cables may be attached at intervals to a catenary or "messenger cable" or they may be self-supporting. In other cases they are embedded in the earth wire of the transmission line itself. (Pilot earth wire). In both cases such cables must be insulated for the induced voltage levels and terminal equipment must be similarly insulated. Common types of construction employ polythene insulated multi-conductor cable surrounded by either a stranded steel armouring or a stainless steel sheath. Some special cables have additional screening incorporating both copper tapes and magnetic steel tapes. The choice of insulation, screening and shielding depends on the disposition of the cables and overhead line conductors, the presence of an earth wire, and the fault currents of the system. (See Section 3.2.3). The choice is also affected by the type of protective system and the protecting measures adopted for the telecommunication cable. In some cases coaxial cables are considered to be more appropriate for such applications.

Underground telecommunication cables have a considerably higher attenuation than open wire lines. The bandwidth is therefore more restricted except in those cases where the cable construction permits the transmission of carrier frequency signals. The attenuation may be reduced by the use of loaded cables but the resulting low velocity of propagation as well as the restricted bandwidth often prohibits their use for protection purposes.

Details of the cable sizes are given in Tables 3-4 and 3-5, which generally apply to paper insulated types. Other wire sizes from 0.6 mm to 1.4 mm diameter are used in both PTT and private cables. Loading is also applied at different values of loading coils spaced at different distances from those given in Table 3-5. In some cases, only part of the cable circuit is loaded so as to allow signal transmission at higher frequencies on other circuits within the same cable.

Increasing use is now being made of polythene insulated cables. This type of cable has lower attenuation, particularly at high frequencies, because of the improved properties of the dielectric. The better insulation obtainable with polythene cables makes them particularly useful for application to routes connecting high voltage stations.

The characteristics mentioned above refer to balanced cable circuits. Coaxial cables may also be used and these have lower attenuation figures which allows high frequency transmission on medium distance routes without the use of intermediate amplifiers. Such cables are generally either polythene insulated or some air (or gas) spaced.

3.2.3 - Sources and Magnitudes of Noise and Interference

The sources of noise mentioned in 3.1.1.1 to some extent apply to telecommunication systems using auxiliary conductors although their importance depends on the type of circuit, e. g. open wires, overhead cables, or underground cables. In addition, other sources of noise are dialling and ringing signals, crosstalk and impulsive noise from other circuits within the

de foudre peuvent aussi produire du bruit, en particulier sur les câbles aériens quoique leur durée est généralement si courte qu'ils ne constituent pas un grave problème.

Les sources de perturbations les plus importantes sont celles qui sont associées à :

- (a) des différences de potentiel entre les deux extrémités du circuit
- (b) une induction longitudinale entre les conducteurs du réseau et les conducteurs auxiliaires.

Ces deux phénomènes sont dus au réseau et l'un comme l'autre ont lieu lorsqu'il y a un défaut, au moment où on exige un fonctionnement correct de la voie de télécommunications.

(a) Différences de potentiel entre les deux extrémités du circuit

Lorsqu'un défaut à la terre se produit sur une ligne arrivant dans une usine ou un poste sur un ensemble de transformateurs avec neutre à la terre, le courant de défaut va circuler de la terre vers le neutre à travers la terre du poste. Comme la terre du poste présente une impédance non nulle, elle va évidemment subir une élévation de potentiel par rapport à la terre éloignée à cause du retour par la terre du courant de défaut. L'importance de l'élévation de potentiel dépend de facteurs tels que la résistance de terre du poste, la position de défaut, la puissance des transformateurs qui débitent sur le défaut et la présence ou l'absence de câbles de garde sur la ligne.

Bien que les résistances de terre des postes soient en général faibles, de l'ordre de 1 ohm, les courants de défaut peuvent être énormes, jusqu'à 50 kA quelquefois. Comme la plus grande partie du courant de défaut, dans beaucoup de cas, circule à travers la terre du poste, il s'en suit que des élévations de potentiel de plusieurs kilovolts ne sont pas rares. Le potentiel du sol autour du poste, par rapport à celui de la terre éloignée, décroît rapidement avec la distance à partir du poste comme le montrent les courbes équipotentielles de la figure 3.10.

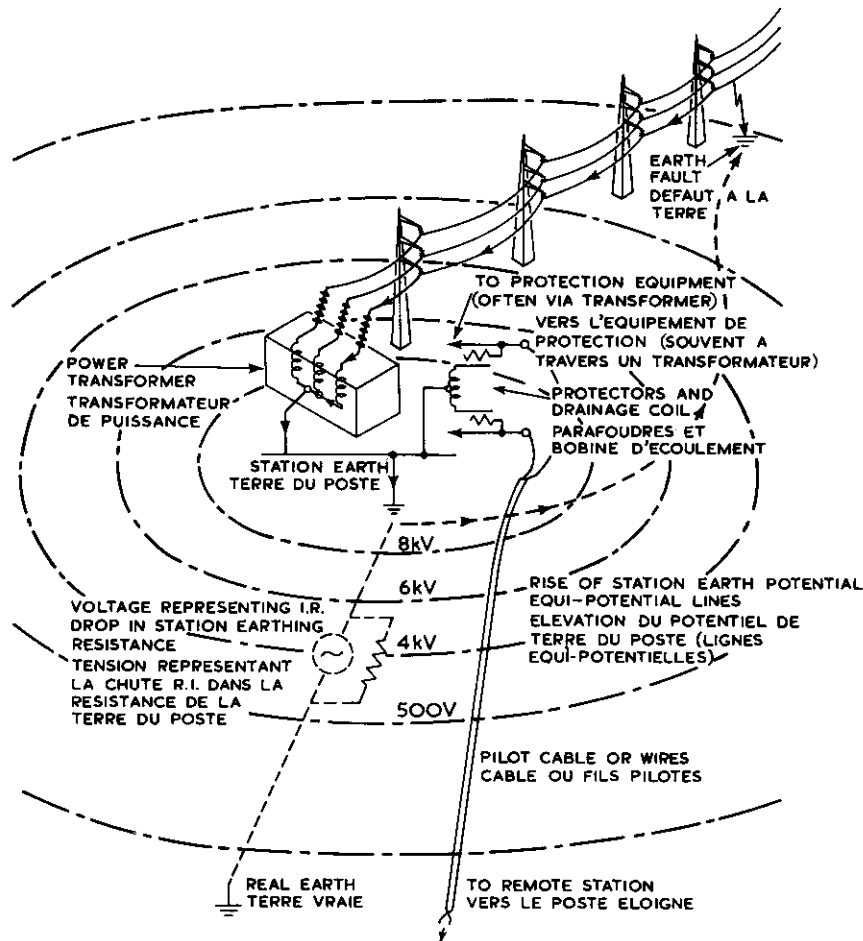


Figure 3.10 - Exemple d'élévation du potentiel de terre dans un poste montrant la protection des fils pilotes

same cable. Lightning surges can also produce noise, particularly on overhead cables although the duration is generally so short that it does not constitute a major interference problem.

The most important sources of interference are those associated with :

- (a) Potential differences between the two ends of the circuit.
- (b) Longitudinal induction between the primary conductors and the auxiliary conductors.

Both of these are power frequency effects and both occur under fault conditions at the time when the telecommunications channel may be required to perform correctly.

(a) Potential Differences between the Two Ends of the Circuit

When a fault-to-earth occurs on a transmission line terminating in an earthed-neutral transformer bank at a power station or substation, fault current will flow from earth to the system neutral by way of the station earthing structure. Since the earth system has a finite impedance it will, of course, experience a rise in potential with respect to a remote earth, owing to the earth-return fault current. The magnitude of the potential rise depends upon factors such as the impedance-to-earth of the station earthing system, the location of the fault, the MVA capacity of the banks feeding into the fault, and the presence or absence of earth wires on the line.

While the impedances of station earths are normally small, perhaps of the order of 1 ohm, the fault currents may be very large, sometimes as much as 50 kA. Since the major part of the fault current in many instances flows in the station earthing structure, it follows that potential rises of several kilovolts are not uncommon. The potential of the ground around the power station, with respect to a remote earth, usually falls off rapidly with distance from the station grounding, as indicated by the equi-potential lines in figure 3.10.

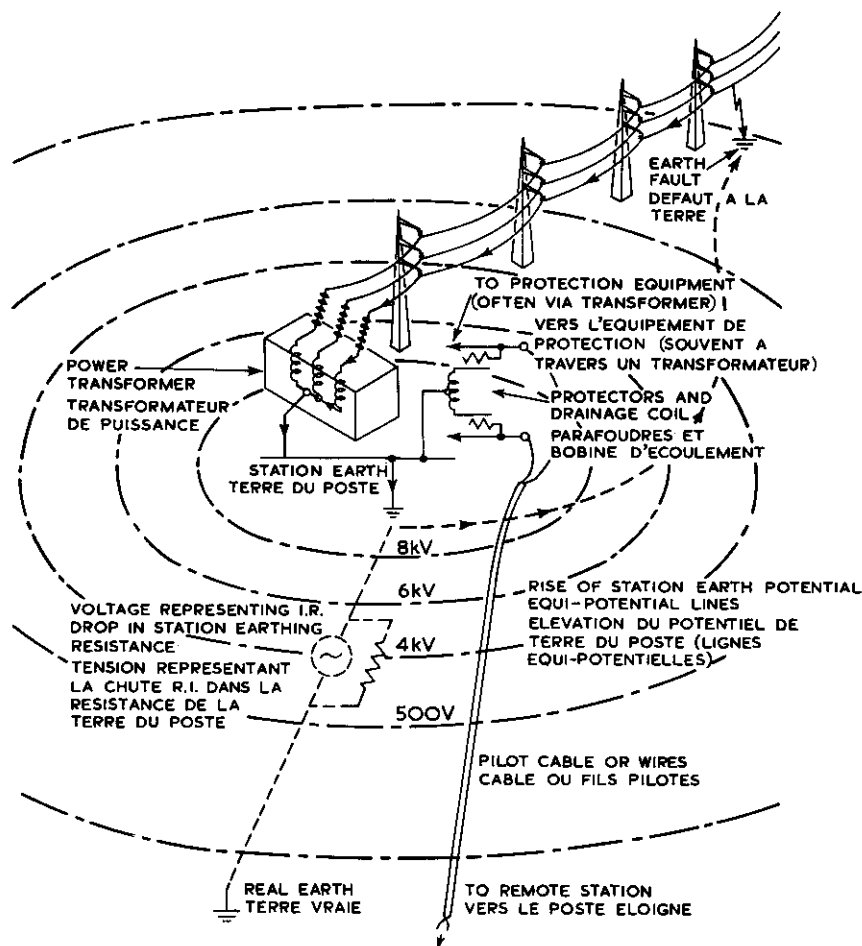


Figure 3.10 - Example of rise of earth potential in station showing pilot protectors

Des élévations de potentiel de ce genre peuvent produire des tensions transversales parasites s'il y a déséquilibre entre les deux conducteurs du circuit de télécommunications. Elles constituent également un danger pour le personnel et pour le matériel et cela exige des mesures de protection (voir section 3.2.6).

(b) Induction longitudinale entre les conducteurs du réseau et les conducteurs auxiliaires

Ce phénomène est de plus grande importance dans le cas d'un défaut avec mise à la terre lorsque le courant de défaut du réseau passe par le sol et le câble de garde. La grandeur de l'induction dépend de la résistivité du sol, de la position des conducteurs auxiliaires par rapport aux conducteurs du réseau, de la présence d'un câble de garde et des effets de blindage ou d'écran qui affectent aussi bien les conducteurs du réseau que les conducteurs auxiliaires.

S'il y a parallélisme entre une ligne aérienne de télécommunications et une ligne HT du réseau, dans ce cas la ligne aérienne est fortement sujette à d'importantes tensions longitudinales induites par les courants de défaut du réseau et peut aussi être soumise aux perturbations dues aux harmoniques dans les conditions normales. Il peut y avoir du bruit inhérent à la ligne elle-même, dû à de faibles valeurs de l'isolement et à ses variations avec les conditions météorologiques, par exemple contact de la ligne avec des branches d'arbres etc... Les valeurs des tensions induites longitudinalement seront élevées parce que la ligne aérienne peut être portée par les mêmes pylônes que la ligne d'énergie et ne bénéficie d'aucun effet d'écran. Des indications sur l'ordre de grandeur des tensions qui peuvent apparaître sont données par les figures 3.11 et 3.12. (Les figures 3.11 et 3.12 sont générales et peuvent être appliquées à des conducteurs aériens ou à un câble souterrain, les seuls paramètres significatifs étant D et ρ). Comme on l'a indiqué plus haut, ces tensions provoquent surtout des contraintes sur les isolements et les équipements terminaux parce qu'elles constituent un signal de mode commun (longitudinal) mais selon l'équilibrage des conducteurs auxiliaires et les effets des dispositifs de protection (voir section 3.2.6), une partie de ce signal peut se manifester comme un signal de mode transversal (différentiel) et par conséquent provoquer des perturbations.

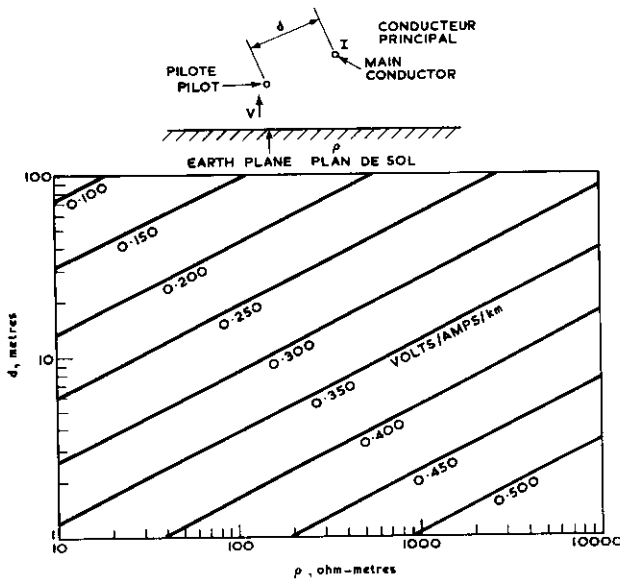


Figure 3.11 - Tension induite en fonction de la résistivité et de la distance ($f = 50$ Hz) [calculée en l'absence de fil de terre].

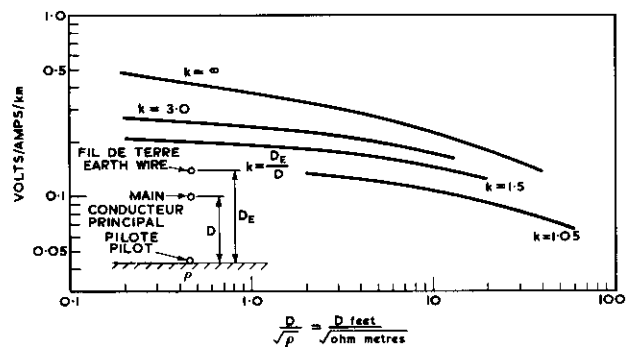


Figure 3.12 - Tension induite en fonction de la résistivité et de la distance, montrant l'influence d'un câble de terre (l'effet d'écran de la gaine du câble auxiliaire n'est pas pris en compte).
 $(k = \infty$ équivaut à l'absence de câble de terre)
 1 ft = 0,3048 m 1 m = 3,281 ft.

Dans le cas des câbles aériens portés par les mêmes pylônes qu'une ligne d'énergie, les tensions induites longitudinales sont les mêmes que pour les lignes aériennes si la disposition est la même, et les figures 3.11 et 3.12 restent applicables. Cependant, il existe un facteur de réduction supplémentaire dû à l'effet d'écran de la gaine et ou du blindage du câble de télécommunications si celui-ci est mis à la terre à ses deux extrémités. Une valeur moyenne de ce facteur de réduction dû à l'effet d'écran est 0,5 environ. Un écran spécial, par exemple un ruban de cuivre et un ruban d'acier, peut diminuer ce facteur jusqu'à 0,1 ou 0,2.

Potential rises of this type can produce spurious transverse signals if unbalance exists between the two conductors of the telecommunication system. They also constitute a hazard to personnel and to equipment and this often requires protecting measures, see Section 3.2.6.

(b) Longitudinal Induction between the Primary Conductors and the Auxiliary Conductors

This effect is generally most significant under earth fault conditions when power frequency fault current returns through the ground path and the earth wire. The degree of induction depends upon the earth resistivity, the disposition of the auxiliary conductors relative to the primary conductors, the presence of earth wire and the shielding or screening effects present in both the primary conductors and the auxiliary conductors.

If parallelism exists between an open wire line and a high voltage circuit, then the open wire line is very prone to high longitudinal voltages induced from power fault currents and possibly also to harmonic interference under normal conditions. There may be inherent noise due to low insulation standards and variations with weather, e.g. contact with tree branches etc. The values of longitudinally induced voltage will be high because the open wire may be on the same towers as the power line and there will be no shielding on the open wires themselves. An indication of the order of voltage occurring is given in figures 3.11 and 3.12. (Figures 3.11 and 3.12 are generalised and could apply to open wire conductors or an underground cable, the only significant parameters being D and ρ) As mentioned above, this voltage is basically a stress on insulation and terminal equipment because it constitutes a common mode (longitudinal) signal but depending upon the balance of the auxiliary conductors and the effect of protecting measures (see Section 3.2.6) some proportion of this signal may appear as a transverse (differential) mode signal and thus cause interference.

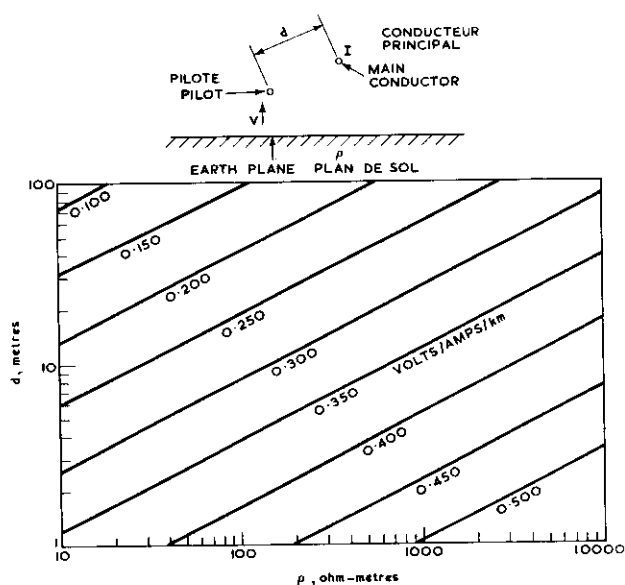


Figure 3.11 - Induced voltage as a function of resistivity and spacing ($f = 50$ Hz) [calculated on the basis of no earth wire being used].

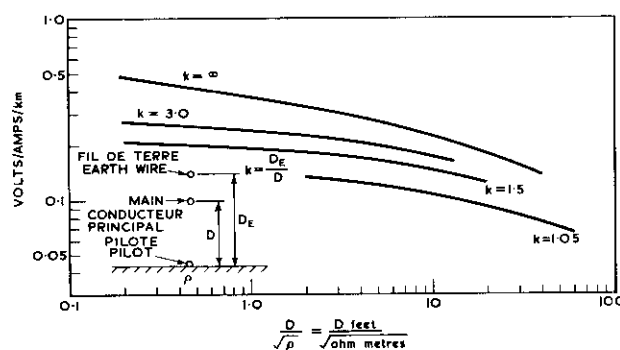


Figure 3.12 - Induced voltage as a function of resistivity and spacing, showing effect of earth wire (screening by auxiliary cable sheath not allowed for). ($k = \infty$ is equivalent to having no earth wire).
 $1 \text{ ft} = 0.3048$ $1 \text{ m} = 3,282 \text{ ft}$

In the case of overhead cables on the same towers as an overhead line, the longitudinal induced voltages will be the same as for open wires with the same dispositions and figures 3.11 and 3.12 are applicable. However, there will be an additional reduction factor due to the screening effect of the sheath and/or armouring of the signalling cable, if this is earthed at both ends. An average value of this screening factor is about 0.5. Special screening, e.g. copper tape and steel tape, may reduce this figure to the order of 0.1 to 0.2.

En ce qui concerne les câbles souterrains de télécommunications enterrés sous une ligne aérienne d'énergie, on obtient des tensions induites longitudinales telles que celles de la figure 3.12. Les valeurs dépendent de la résistivité du sol et de la position du câble de garde par rapport aux conducteurs de la ligne d'énergie.

Pour un câble souterrain de télécommunications pour lequel la gaine ou le blindage est mis à la terre aux deux extrémités, les chiffres seront multipliés par un facteur de réduction dû à l'effet d'écran d'environ 0,5.

Les câbles souterrains de télécommunications qui suivent parallèlement, et à faible distance des câbles d'énergie sont aussi l'objet de tensions induites longitudinales mais celles-ci sont en général plus faibles que celles subies avec des lignes aériennes d'énergie. Leur valeur dépend de l'efficacité de la gaine et du blindage du câble d'énergie et de sa mise à la terre aussi bien que de celle du câble de télécommunications. Des valeurs moyennes courantes basées sur des valeurs classiques de résistivité du sol sont données dans le tableau 3-6.

TABLEAU 3-6

VALEURS USUELLES DES TENSIONS LONGITUDINALES INDUITES SUR LES CABLES DE TELECOMMUNICATIONS PAR LES CABLES D'ENERGIE

Dimensions du câble d'énergie et tension nominale	Volts/Ampères/km		
	Sans l'effet de la gaine du câble d'énergie (1)	Avec l'effet de la gaine du câble d'énergie (2)	
		Plomb	Aluminium
3 conducteurs de chacun 4 cm ² 33 kV	0,3 - 0,6	0,06 - 0,12	0,03 - 0,06
3 conducteurs de chacun 3,2 cm ² 132 kV	0,3 - 0,6	0,06 - 0,12	0,03 - 0,06
3 conducteurs de chacun 19,3 cm ² 132 kV	0,3 - 0,6	0,03 - 0,06	0,012 - 0,024
3 conducteurs de chacun 9,6 cm ² 275 kV	0,3 - 0,6	0,045 - 0,09	0,012 - 0,024
3 conducteurs de chacun 9,6 cm ² 400 kV	0,3 - 0,6	0,03 - 0,06	0,009 - 0,018

Notes :

- (1) Les valeurs de l'impédance de couplage sont usuelles pour des distances jusqu'à 1 mètre avec des résistivités du sol moyennes.
- (2) L'effet d'écran de la gaine du câble est basé sur l'hypothèse qu'il y a deux terres en câble et que la résistance des mises à la terre de la gaine est négligeable.
- (3) Les valeurs indiquées sont encore réduites d'environ 50 % par l'effet moyen d'écran dû à la gaine et au blindage du câble de télécommunications.

3.2.4 - Sécurité de fonctionnement3.2.4.1 - Lignes aériennes

La sécurité de fonctionnement est limitée par la conception du récepteur particulièrement en fonction des niveaux de bruit en général dus à l'induction des lignes d'énergie voisines (voir section 3.2.3). L'absence d'écran sur les lignes aériennes ainsi que le risque plus grand de déséquilibre entre les deux conducteurs peuvent poser des problèmes dans ce domaine. Il faut noter que ces perturbations sont particulièrement importantes parce qu'elles se produisent sur un défaut du réseau au moment même où l'on demande à la protection de fonctionner correctement. Les considérations de sécurité de fonctionnement peuvent également dépendre du fait que les lignes aériennes sont sujettes à des risques mécaniques qui peuvent aussi être du genre qui provoque un défaut sur le réseau en même temps qu'il endommage la ligne de télécommunica-

For underground signalling cables running below an overhead line, longitudinal induced voltages as shown in figure 3.12 will be obtained. The values will depend upon the earth resistivity and the position of the earth wire in relation to the primary conductor. For an underground signalling cable in which the sheath and or armouring is earthed at both ends, the figures will be reduced by a screening factor of approximately 0.5.

Underground signalling cables running parallel to and close to primary cables are again subject to longitudinal induced voltages but these are generally less than those experienced with overhead lines. The values depend on the effectiveness of both the main cable sheathing and armouring and its earthing as well as that of the signalling cable. Typical average values based on earth resistivities within the normal range are given in Table 3-6.

TABLE No. 3-6

TYPICAL VALUES OF LONGITUDINAL VOLTAGES INDUCED IN
AUXILIARY CABLES BY POWER CABLES

Size of Power Cable and Nominal Voltage	Volts/Amps/km		
	Without effect of main cable sheath (1)	With effect of main cable sheath (2)	
		Lead	Aluminium
3 × 1 core each 4 sq. cm 33 kV	0.3 - 0.6	0.06 - 0.12	0.03 - 0.06
3 × 1 core each 3.2 sq. cm 132 kV	0.3 - 0.6	0.06 - 0.12	0.03 - 0.06
3 × 1 core each 19.3 sq. cm 132 kV	0.3 - 0.6	0.03 - 0.06	0.012 - 0.024
3 × 1 core each 9.6 sq. cm 275 kV	0.3 - 0.6	0.045 - 0.09	0.012 - 0.024
3 × 1 core each 9.6 sq. cm 400 kV	0.3 - 0.6	0.03 - 0.06	0.009 - 0.018

Note

- (1) The values of mutual coupling impedance are typical ranges for separations of the order of up to 1 metre over an average range of earth resistivities.
- (2) The screening effects of cable sheaths is based on the assumption that a double circuit cable system is used and there is negligible resistance in the earthing connections of the sheaths.
- (3) The values given will be further reduced to about 50 % by the average screening effects of the sheath and armouring of the auxiliary cable.

3.2.4 - Reliability3.2.4.1 - Open Wire Systems

Reliability is limited by the design of the receiving system especially in relation to the noise levels generally arising from induction with neighbouring power circuits, see Section 3.2.3. The lack of screening on the open wires together with the greater risk of unbalance between the two conductors may cause problems in this respect. Note that this interference is particularly important because it occurs under fault conditions at the very time when the protection is called upon to perform correctly. Reliability considerations must also be influenced by the fact that open wires may be subject to physical damage which may also be of a kind which results in a primary fault at the same time as damage to the auxiliary conductors. They are

tions. Elles sont de plus sensibles aux perturbations et aux dommages dus aux coups de foudre. Elles sont en général utilisées seulement lorsqu'on ne peut pas obtenir des voies à plus grande sécurité soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons financières. Là où des lignes aériennes courent parallèlement à des lignes d'énergie, il faut prendre des précautions pour éviter qu'elles n'entrent en contact direct avec la ligne d'énergie et pour se protéger de l'induction du courant de défaut (voir section 3.2.3). La sécurité de fonctionnement de la voie dépend principalement de la robustesse de la construction, de la qualité de l'isolement, de l'efficacité de l'effet d'écran des câbles de garde et de l'utilisation de transpositions correctement coordonnées associées à une maintenance de qualité.

3.2.4.2 - Câbles

Les câbles aériens de télécommunications sont généralement du type armé ou blindé et ils présentent une sécurité de fonctionnement meilleure que celle des lignes aériennes mais inférieure à celle présentée par les câbles souterrains. Dans de nombreux cas, ces câbles sont mécaniquement aussi sûrs que les conducteurs de la ligne d'énergie mais il est fondamental que la technique des joints de raccordement soit adéquate pour résister à la fois aux conditions météorologiques et aux tensions induites. Les câbles de télécommunications aériens sont sujets aux perturbations dues aux courants de défaut du réseau (voir section 3.2.3) et la sécurité de fonctionnement dépend de l'équipement de télécommunications qui doit avoir une immunité adaptée aux effets possibles de telles perturbations. Dans certains cas, les câbles aériens de télécommunications peuvent être l'objet de détériorations mécaniques telles que, par exemple, celles dues à des plombs de chasse etc... Une défaillance d'un câble de télécommunications peut être due à la pénétration de l'humidité à cause de la rupture de la gaine extérieure sous contrainte mécanique, sous l'effet du vent ou à cause de joints défectueux.

Le poids du câble par unité de longueur par rapport à son diamètre est différent de celui des conducteurs des phases de la ligne d'énergie et il peut en résulter des fréquences naturelles d'oscillations, sous l'effet du vent, différentes ; par conséquent ces mouvements qui ne sont pas en phase peuvent produire des contacts avec les conducteurs de la ligne d'énergie.

Les câbles de télécommunications placés dans le câble de garde sont sujets au même genre de perturbations mais de plus sont davantage exposés aux dommages dus aux coups de foudre. De tels câbles sont particulièrement résistants au point de vue mécanique.

Les câbles souterrains de télécommunications sont moins sujets aux perturbations issues des lignes d'énergie et même là où ces dernières sont très proches des câbles de télécommunications, l'effet des perturbations peut être réduit en utilisant des câbles blindés (voir section 3.2.3). Le bruit est surtout dû à la foudre et à la diaphonie avec les circuits adjacents dans le même câble.

Le bruit dû aux amplificateurs en ligne est généralement négligeable. Dans le cas de circuits loués, les interruptions peuvent être causées par des travaux. Les circuits peuvent être l'objet d'actes de malveillance. La sécurité de fonctionnement est fonction de la conception du récepteur par rapport aux niveaux de bruit. Bien que des défaillances puissent être dues à des contraintes mécaniques et à la pénétration de l'humidité, la sécurité de fonctionnement sur ces points est généralement bonne. Des essais d'isolement réguliers peuvent permettre de détecter une lente détérioration de l'isolement et ainsi de réparer avant que la défaillance ne survienne.

3.2.4.3 - Surveillance des circuits

A cause du risque de défaillance des circuits de télécommunications, il est d'usage courant de fournir les moyens de surveiller en permanence la continuité du circuit de télécommunications. Une méthode classique est indiquée figure 3.13 dans laquelle un courant continu de surveillance circule en permanence. En utilisant un relais polarisé, on peut détecter le croisement de conducteurs aussi bien que des ouvertures ou des courts-circuits.

D'autres types de surveillance peuvent faire usage de la transmission permanente d'une fréquence musicale ou d'une porteuse.

3.2.5 - Règlements limitatifs

Dans certains pays, les câbles de télécommunications et les lignes aériennes loués aux administrations des P.T.T. ou aux compagnies téléphoniques sont l'objet de règlements limitatifs lorsqu'ils sont utilisés pour la téléprotection. Ces règlements limitatifs touchent les ni-

also susceptible to interference and damage from lightning. They are generally only used where alternative and more reliable channels are unobtainable due to either technical or economic considerations. Where open wire lines are used on power line routes, precautions have to be taken to guard against contacts with the power line and induction from the fault current (see Section 3.2.3). Channel reliability depends mainly on the robustness of the construction, the quality of the insulation, the effectiveness of shielding by earth wires and the use of properly co-ordinated schemes of transposition together with the quality of maintenance.

3.2.4.2 - Cable Systems

Overhead signalling cables are usually of the screened and/or armoured type and these offer better reliability than open wires but not as good as that obtained with underground cables. In many cases these cables are as mechanically reliable as the power conductors themselves but it is essential that the jointing techniques should be adequate to withstand both the weather conditions and the induced voltages. Overhead signalling cables are subjected to interference from power system fault currents as shown in Section 3.2.3 and reliability is dependent on the signalling equipment having adequate immunity from the possible effects of such interference. In some cases, overhead signalling cables may be subject to physical damage e.g. shot gun pellets etc. Failure of the signalling cable may be caused by ingress of moisture due to breakage of the outer sheath resulting from mechanical damage, wind movement or unsuitable joints.

The weight per unit length of the cable in relation to the diameter is different from that of the power circuit phase conductors and this can result in differing natural frequencies or swinging under wind conditions, thus out-of-phase movement can occur resulting in clashing with live conductors.

Earth wire signalling cables are subject to similar forms of interference but in addition, are more exposed to damage by lightning strokes. Such cables are particularly strong mechanically.

Underground signalling cables are less affected by interference from power circuits and even where these are immediately adjacent to the signalling cable interference can be reduced by the use of screened cables, see Section 3.2.3. Noise is mainly due to lightning and to cross-talk from adjacent circuits within the cable. Noise due to line amplifying equipment is usually negligible. In the case of rented circuits, interruption may be caused by working parties. Lines may be subject to malicious damage. Reliability is influenced by the design of the receiving equipment in relation to noise levels. Although circuit failures can occur due to mechanical damage and ingress of moisture, reliability in this respect is generally good. Regular insulation testing can detect slow deterioration of insulation and permit correction before failure occurs.

3.2.4.3 - Supervision

According to the risk of failure in the auxiliary circuit, it is common practice to provide means of continuously supervising the continuity of the auxiliary circuit. A typical method is shown in figure 3.13 in which a d.c. testing current is continuously circulating. By the use of a polarised relay, crossed conductors as well as open circuits and short-circuits can be detected.

Other forms of supervision may use the transmission of a continuous audio or carrier frequency.

3.2.5 - Restricting Regulations

In certain countries signalling cables and overhead wires leased from P.T.T. administrations or telephone companies are subject to restricting regulations when used for teleprotection. These restricting regulations affect the levels of current and voltage which may be

veaux de courant et de tension qui peuvent être utilisés pour la signalisation, selon que ce sont des niveaux permanents ou des niveaux de courte durée qui se produisent pendant la durée d'un défaut sur le réseau. Par exemple, les autorités britanniques exigent que la combinaison des tensions phonie et signalisation ne dépasse pas 2 volts crête-à-crête sur des circuits à fréquence musicale avec répéteurs et 1 volt crête à crête pour des circuits à fréquences porteuses. Dans le cas d'une transmission de courte durée, par exemple transmission à la fréquence du réseau pour la protection longitudinale différentielle, les niveaux maximaux autorisés peuvent être augmentés jusqu'à 100 volts crête et 50 mA.

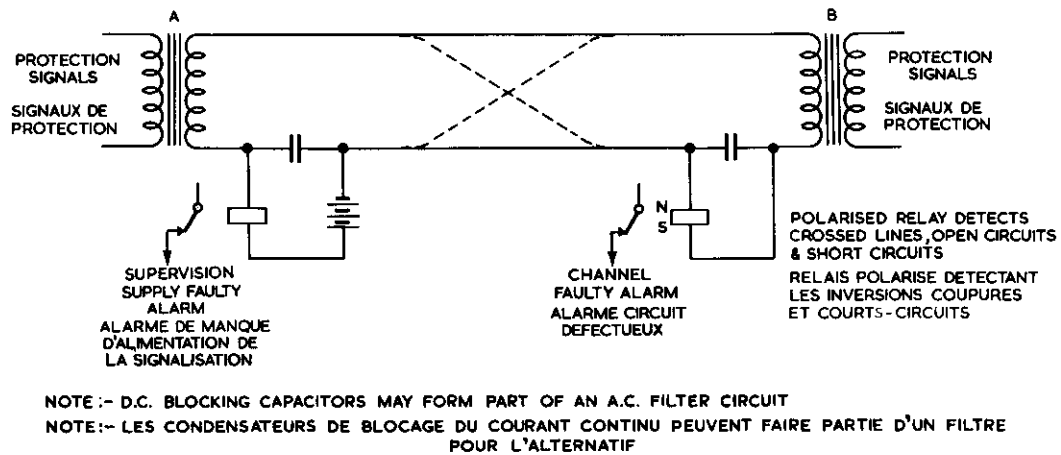


Figure 3.13 - Signalisation de défauts sur un circuit de transmission par fils

Une autre exigence usuelle est, pour des circuits de télécommunications entrant dans un poste haute tension, qu'ils soient bien isolés ou bien séparés de tous les équipements associés à l'appareillage du réseau. L'isolement doit tenir en général des tensions de 15 à 25 kV efficaces aux essais. D'autres exigences concernent les mesures convenables de protection pour éviter des dommages matériels et pour protéger le personnel. Ces derniers points sont traités dans la section 3.2.6.

3.2.6 - Mesures de protection associées aux câbles et lignes de télécommunications

Les câbles et les lignes de télécommunications qui entrent dans les postes haute tension peuvent être le siège de tensions très élevées (voir section 3.2.3). Elles peuvent être classées comme suit :

- (a) Elévation du potentiel de terre
- (b) Induction à la fréquence du réseau
- (c) Contact électrique entre les conducteurs du réseau et les conducteurs de télécommunications.
- (d) Surtensions dues à la foudre sur un circuit de télécommunications.

Afin de minimiser les dangers encourus à la fois par le matériel et le personnel, il est souvent nécessaire de prendre certaines mesures de protection et il est même obligatoire de les prendre dans le cas de circuits loués. Les mesures adoptées peuvent être influencées par le type de transmission utilisé ou par la qualité de l'isolement des conducteurs de télécommunications.

La méthode classique de protection, en particulier aux Etats-Unis et au Canada, est l'utilisation de parafoudres au carbone, amorçant pour 500 volts crête, associés à des bobines de drainage (voir Fig. 3.14). Cette méthode est appliquée aux fils pilotes porteurs de courant continu et de courant alternatif 50 et 60 Hz ainsi qu'aux systèmes à déplacement de fréquence musicale. Là où l'élévation du potentiel de terre atteint plusieurs kilovolts, on utilise des transformateurs neutralisateurs suivant la figure 3.15. Les transformateurs neutralisateurs à trois enroulements sont courants aux Etats-Unis et au Canada. Ils ont trois enroulements identiques étroitement couplés. Le primaire est branché entre la terre du poste et la terre éloignée. Chacun des deux secondaires est branché en série avec l'un des fils du circuit télé-

used for signalling, according to whether these are continuous levels or short time levels prevailing for the duration of a power system fault. For example, the U.K. authorities require that the combined speech and signalling voltage shall not exceed 2 volts peak-to-peak on direct audio amplified circuits and 1 volt peak-to-peak on carrier derived circuits. In the case of short duration transmission, e.g. power frequency signalling for longitudinal differential protection, the permitted levels may be increased to maximum values of the order of 100 volts peak and 50 mA.

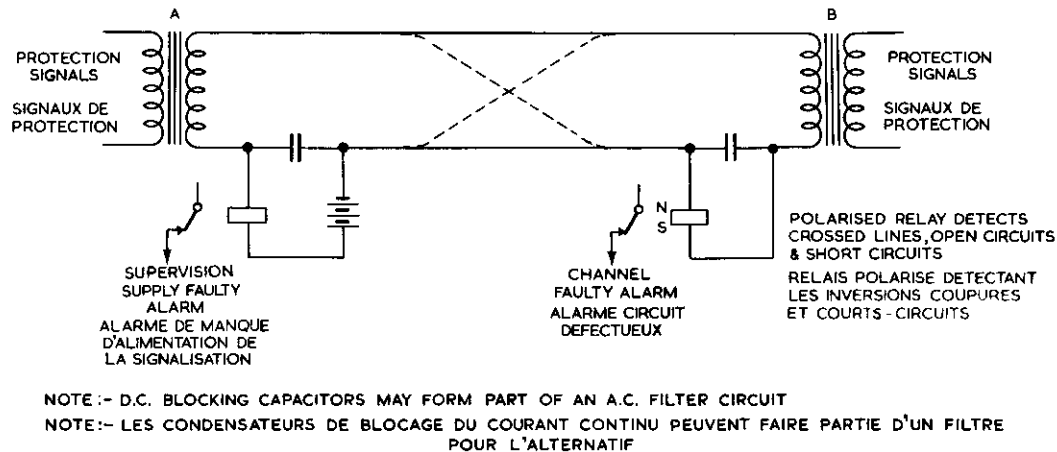


Figure 3.13 - Wire line communication channel supervision

Another common requirement is that when telecommunication circuits enter high voltage stations, they be provided with a high degree of isolation and/or insulation from all equipment associated with the power frequency equipment. This insulation has to withstand typically a 15 - 25 kV r.m.s. test. Other requirements cover the provision of suitable protecting measures to prevent damage to equipment and/or danger to personnel. These are covered in Section 3.2.6.

3.2.6 - Protective measures associated with signalling cables and wires

Signalling cables and wires entering high voltage stations are liable to excessive voltages (see Section 3.2.3). These can be summarised as :

- (a) Ground potential rise.
- (b) Power frequency induction.
- (c) Electrical contact between power conductors and communication conductors.
- (d) Lightning surges in a communication circuit.

In order to minimise hazards both to equipment and personnel, certain protective measures are often necessary or in the case of rented circuits, obligatory. The measures adopted may be influenced by the type of signalling method used or the quality of the insulation on the auxiliary conductors.

The conventional method of protection, especially in U.S.A. and Canada, is the use of carbon protector blocks operating at about 500 volts peak together with drainage coils (see figure 3.14). This method is being applied to d.c., 50 Hz and 60 Hz pilot wire and audio tone frequency shift systems. Where the ground potential rise is in the order of several kilovolts, neutralising transformers according to figure 3.15 will be used. The three-winding neutralising transformer is common in U.S.A. and Canada. It has three identical closely coupled windings. The primary is connected between the power station ground and remote ground. Each of the two secondaries is connected in series with one side of the telephone circuit. When a

phonique. Lorsqu'une élévation du potentiel de terre agit sur l'enroulement primaire, une tension égale est induite à travers les enroulements secondaires sur chaque fil du circuit téléphonique. La polarité de la tension induite est telle que le potentiel des circuits téléphoniques du côté "poste" du transformateur s'élève à la même valeur que celle de la terre du poste et par conséquent l'élévation du potentiel de terre est "neutralisée".

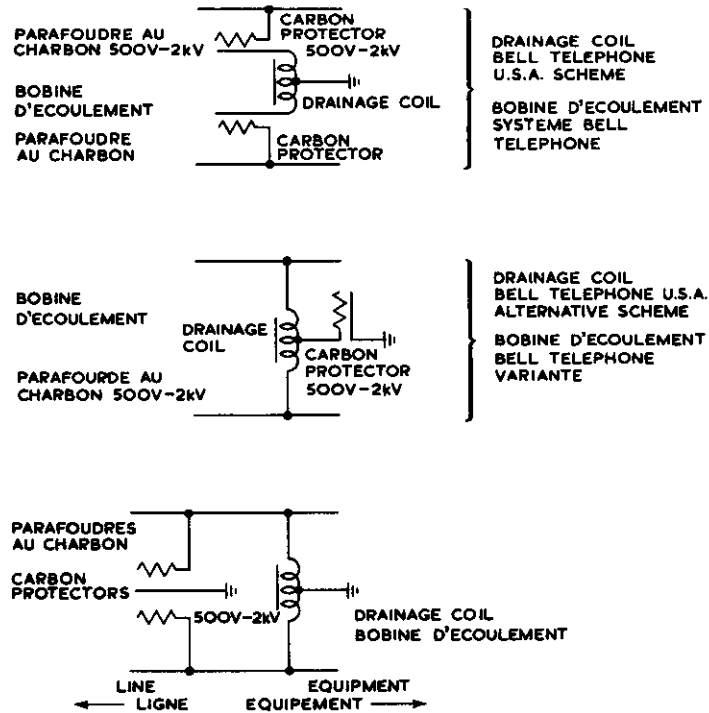


Figure 3.14 - Dispositif typique de protection contre les surtensions pour lignes aériennes

Un moyen différent et moins coûteux est la bobine de neutralisation à deux enroulements (voir Fig. 3.15). Lorsque de nombreux circuits entrent dans un poste, des transformateurs neutralisateurs à enroulements multiples ont été utilisés.

Les transformateurs d'isolement ou les transformateurs d'isolement et de drainage combinés, ainsi que les transformateurs neutralisateurs additionnels ne peuvent être utilisés que dans les cas de transmission de courant alternatif ou de fréquences musicales (voir Fig. 3.16).

Alors qu'elles sont en général efficaces pour limiter les tensions longitudinales et par conséquent protéger les équipements et les circuits de télécommunications, de telles mesures de protection peuvent par leur fonctionnement provoquer des déséquilibres dans les circuits de télécommunications, convertissant ainsi une partie de l'effet longitudinal en un signal perturbateur transversal. Par exemple, des parafoudres au carbone, à air, à gaz, etc... peuvent ne pas amorcer simultanément, produisant ainsi d'importants courants de déséquilibre qui conduisent à une tension de déséquilibre élevée. En général, la durée de tels déséquilibres est courte par rapport aux temps de fonctionnement des protections et ne pose pas souvent un problème important. Cependant, l'utilisation de tels procédés en liaison avec des systèmes de téléprotection nécessite une étude sérieuse, ce qui met en relief le fait qu'il faille considérer un système de téléprotection comme une seule entité.

Un autre cas est celui de l'utilisation de bobines de drainage qui, limitant la tension longitudinale en faisant circuler des courants relativement importants dans les conducteurs de télécommunications, peuvent produire des tensions transversales à cause des imperfections dans l'équilibrage à la fois des conducteurs et des bobines de drainage elles-mêmes.

rise in ground potential is impressed across the primary winding an equal voltage is induced through the secondaries into each conductor of the telephone circuit. The polarity of the induced voltage is such that the voltage on the telephone lines on the station side of the transformer is raised to the same value as that of the power station ground and thus the rise in ground potential is "neutralised".

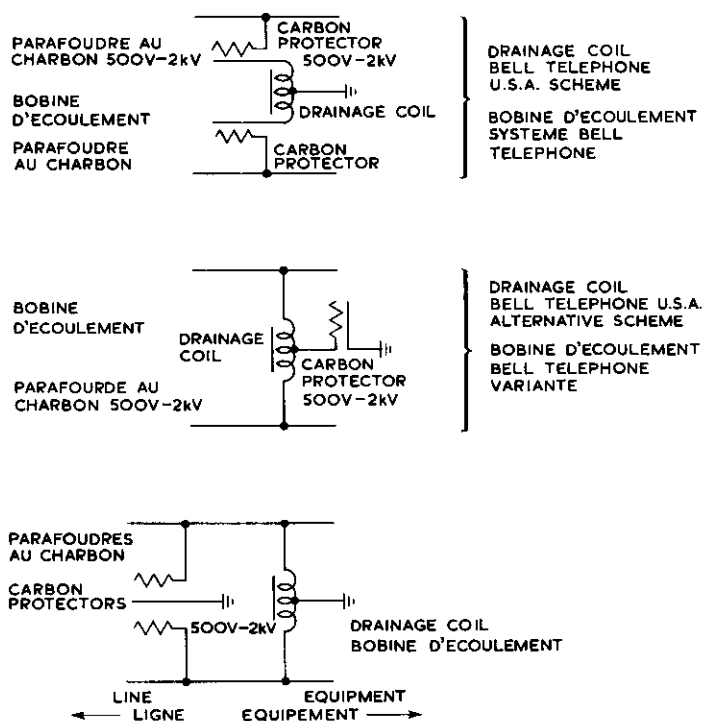


Figure 3.14 - Typical layout of surge protection for wire line systems

An alternative and less expensive arrangement is the 2-winding neutralising reactor (see figure 3.15). Where many circuits enter a power station multi-winding neutralising transformers have been used.

Insulating transformers or combined insulating and drainage transformers and additional neutralising transformers can only be used in the case of a.c. and audio tone frequency transmission schemes (see figure 3.16).

Whilst protecting measures of this type are generally effective in limiting longitudinal voltages and thus protecting the equipment and telecommunication circuit, their operation may result in unbalancing of the auxiliary conductors, thus converting a part of the longitudinal effect into a transverse interference signal. For example, carbon protectors, spark gaps, gas gaps etc. may not fire simultaneously, thus producing heavy unbalance currents leading to a high voltage unbalance. In general the duration of such unbalances is short in relation to protection operating times and does not often cause a serious problem. Nevertheless, the use of such devices in conjunction with teleprotection needs careful consideration, thus emphasising the importance of regarding the teleprotection system as a single entity.

Another case involves the use of drainage coils which, in limiting the longitudinal voltage by passing relatively heavy currents through the auxiliary conductors, may produce transverse voltage due to balance imperfections both in the conductors and the drainage coils themselves.

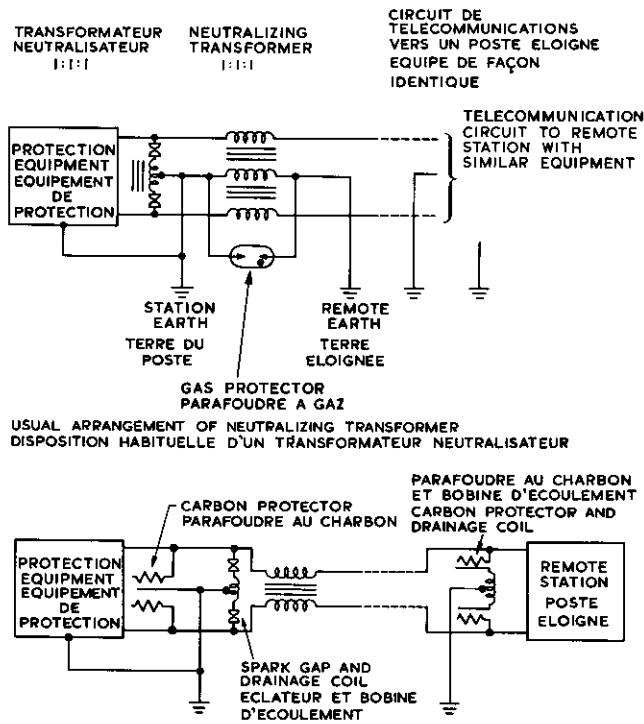


Figure 3.15 - Transformateur neutralisateur ou réactance à 2 enroulements

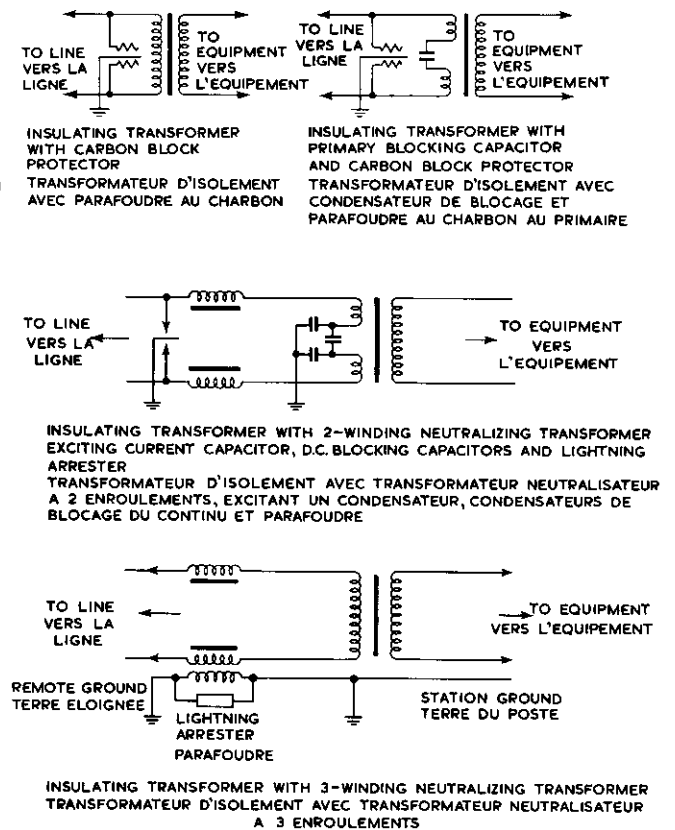


Figure 3.16 - Schémas-types de circuits 2 fils, protégés contre les surtensions, utilisant des transformateurs d'isolement pour la transmission téléphonique.

3.3 - COURANTS PORTEURS SUR LES LIGNES D'ENERGIE ET LES FILS DE GARDE ISOLES (TECHNIQUE C. P. L.) (1)

La technique C.P.L. est très différente de la technique des courants porteurs sur les lignes et les câbles de télécommunications, c'est pourquoi elle est traitée séparément dans cette section.

Le chaînon principal du couplage du signal haute fréquence, entre le potentiel des équipements électroniques et de protection et le potentiel des conducteurs d'énergie est un condensateur haute tension. Comme il est essentiel d'avoir le minimum de perturbations entre les différents équipements à courants porteurs sur le réseau, chaque équipement se voit allouer une bande de fréquences de travail qui lui est propre et adéquate pour la fonction qu'il doit remplir et les bandes choisies doivent être décalées pour éviter que les fréquences de l'équipement voisin ne soient trop proches. Le dispositif de couplage peut être soit un couplage à une seule phase, c'est-à-dire un couplage phase-terre (Fig. 3.17) soit un couplage inter-phases (Fig. 3.18). Le couplage inter-phases est techniquement supérieur en ce sens qu'il procure des avantages tels qu'un affaiblissement moindre, particulièrement dans le cas de défauts polyphasés, une réduction des niveaux des perturbations et du couplage aux autres phases. Par contre son coût est plus élevé parce qu'il est nécessaire d'avoir deux condensateurs de couplage et deux circuits - bouchons. Bien que moins coûteux, le couplage phase - terre est sujet à des niveaux de perturbations et des affaiblissements plus importants. Les circuits de couplage pour courants porteurs sont décrits dans l'annexe A4.

(1) courants porteurs sur lignes d'énergie ; en anglais P. L. C. : power line carrier.

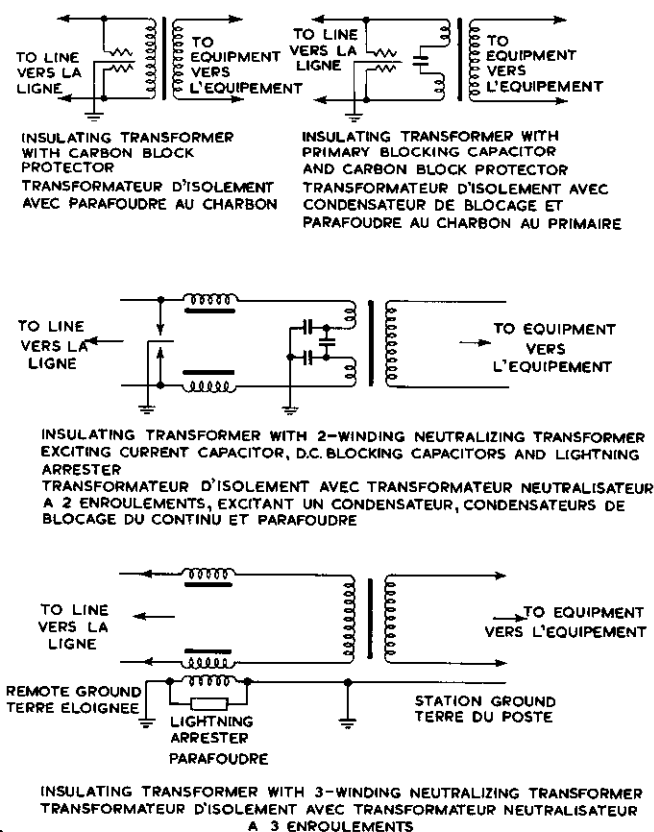
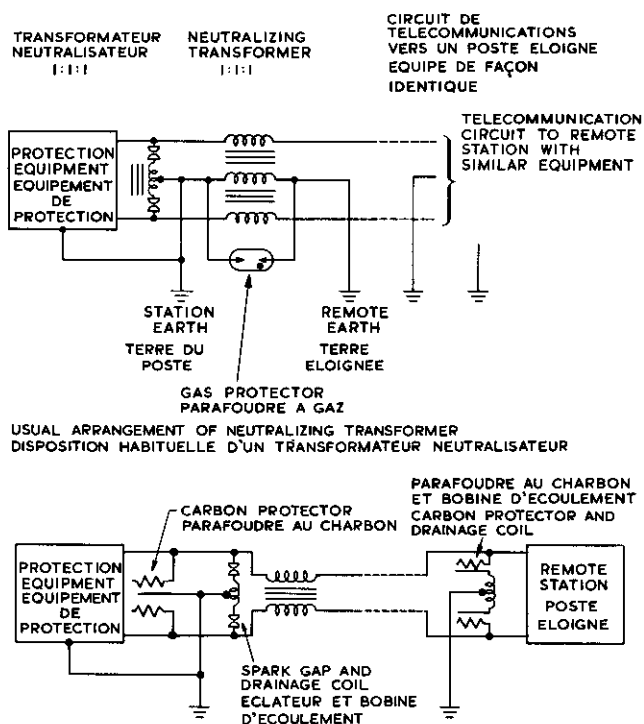


Figure 3.15 - 2-winding neutralizing transformer or reactor

Figure 3.16 - Typical designs for surge protected 2-wire systems using insulating transformers for voice current transmission.

3.3 - CARRIER CURRENT ON HIGH VOLTAGE LINES AND ISOLATED GROUND WIRES (PLC TECHNIQUE)

The PLC technique differs considerably from carrier current technique on open wires and signalling cables, and is thus covered separately in this section.

The essential link in the coupling of the high frequency signal from the ground level of the electronic and protection equipment to that of the high voltage conductors is a high voltage capacitor. As it is essential to have minimum interference between different carrier equipments on the system each equipment is allocated a particular working frequency band adequate for its function and the bands chosen should be staggered to avoid the frequencies of adjacent equipment being too close. Coupling equipment can comprise either a single coupling to one phase conductor, i.e. phase-earth coupling (Fig. 3.17) or phase-phase coupling (Fig. 3.18). Phase-phase coupling is technically superior in that it provides advantages such as lower attenuation, especially in the case of multiple phase faults, reduction of interference level and of coupling to other phases. It suffers from higher cost as two coupling capacitors and line traps are needed. Although cheaper, phase-earth coupling gives higher interference and attenuation figures. Carrier coupling circuits are described in Appendix A4.

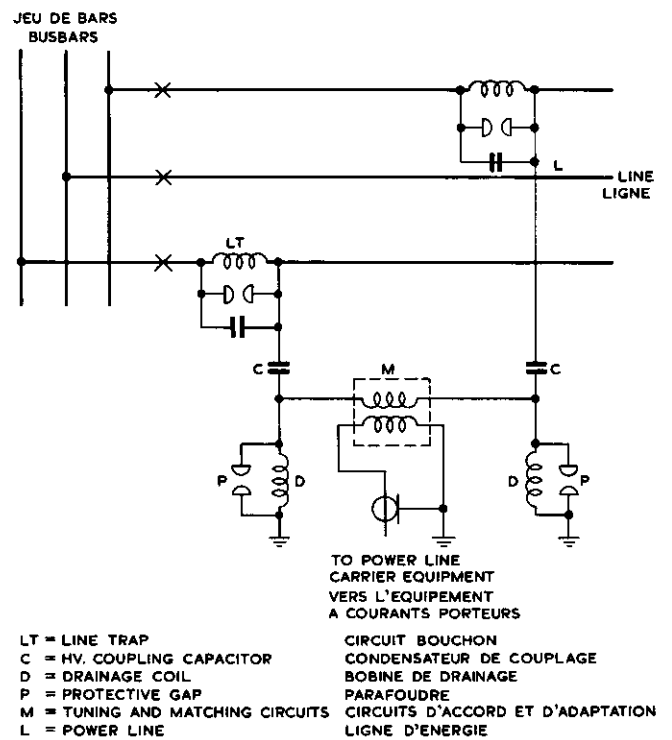
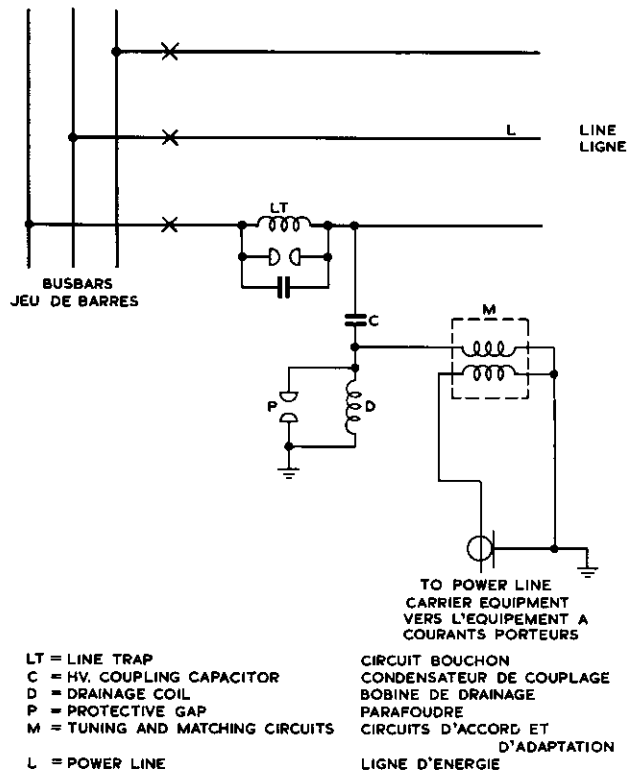


Figure 3.17 - Schéma simplifié d'un couplage phase-terre

Figure 3.18 - Schéma simplifié d'un couplage inter-phases

3.3.1 - Méthode de signalisation

Les méthodes de signalisation décrites dans la section 3.4.1. sont également valables pour ce type d'équipement.

Si la voie à courants porteurs est utilisée pour la transmission simultanée de plusieurs signaux, le ou les signaux de déclenchement ou de verrouillage modulent une ou plusieurs sous-porteuses à fréquence musicale. (Dans la plupart des cas, c'est une modulation du type déplacement de fréquence. Fig. 3.19). Si la voie à courants porteurs est utilisée pour la transmission d'un seul signal de déclenchement ou de verrouillage, la fréquence porteuse peut être modulée elle-même par tout ou rien par l'information binaire fournie par l'appareillage de protection (Fig. 3.20).

La transmission par courants porteurs peut être du type où les deux bandes latérales sont transmises (DBL) ou du type à bande latérale unique (BLU), ce dernier type donnant un meilleur rapport signal sur bruit pour une puissance de sortie donnée de l'équipement de transmission.

3.3.2 - Types de circuits

La figure 3.21 donne des valeurs moyennes d'affaiblissement d'une ligne dans les conditions normales pour différents paramètres de la ligne et différentes fréquences. Si on les compare avec les affaiblissements des câbles de télécommunications et des lignes aériennes, on peut s'attendre à un affaiblissement par km beaucoup plus faible.

Dans des conditions météorologiques normales (c'est-à-dire en l'absence de givre), l'affaiblissement des signaux à courants porteurs sur les lignes aériennes d'énergie est généralement de l'ordre de 0,02 à 0,3 dB/km (0,002 à 0,036 néper/km) selon l'armement de la ligne, le mode de propagation et la fréquence porteuse utilisée, cette dernière étant généralement dans la plage 30 - 500 kHz.

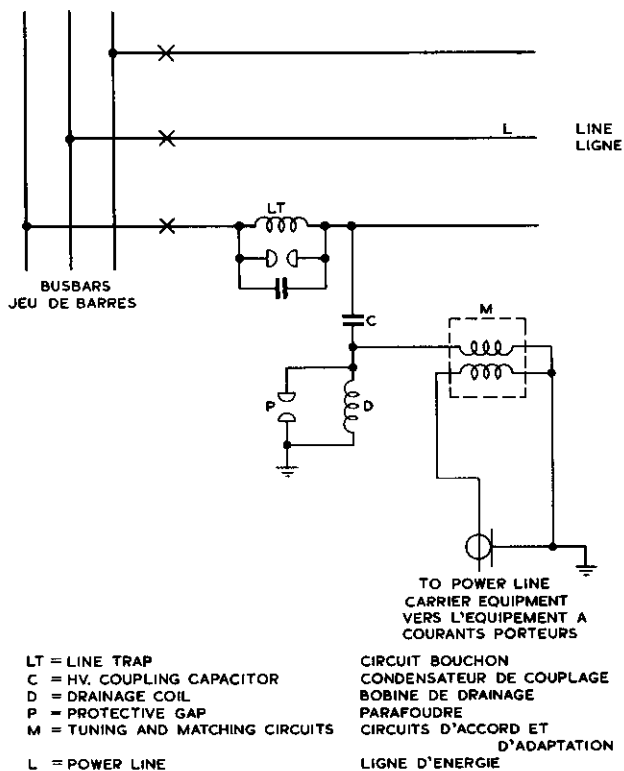


Figure 3.17 - Simplified circuit of phase-earth coupling arrangement

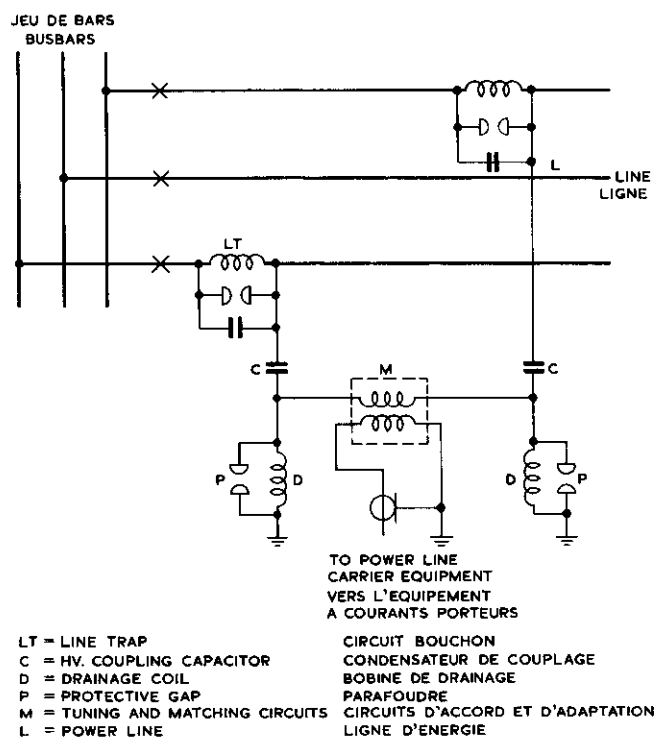


Figure 3.18 - Simplified circuit of phase-phase P.L.C. coupling arrangement

3.3.1 - Method of Signalling

The methods of signalling described in Section 3.4.1 are also valid for this type of equipment.

If the carrier current channel is used for simultaneous transmission of several signals, the tripping or blocking signal(s) is (are) modulated onto an audio frequency subcarrier(s) (mostly of the frequency shift type) (Fig. 3.19). If the carrier current channel is used for transmission of only one tripping or blocking signal the carrier frequency can be shifted itself by the on/off type information derived from the protective devices (Fig. 3.20).

Carrier current transmission can be of the double sideband (DSB) or single sideband (SSB) type, the latter giving a better signal-to-noise ratio for a given output of the transmitting equipment.

3.3.2 - Type of Circuit

Figure 3.21 gives average values for line attenuation for normal conditions with various line parameters and frequencies. When compared with the attenuation of signalling cables and overhead open wire lines, a much lower attenuation per km can be expected.

In normal weather conditions (i.e. in the absence of conductor icing), the attenuation of carrier signals on overhead power lines is generally of the order of 0.02 to 0.3 dB/km (0.002 to 0.036 neper/km) depending on the line construction, the mode of propagation and the carrier frequency employed, the latter usually being in the range 30 - 500 kHz.

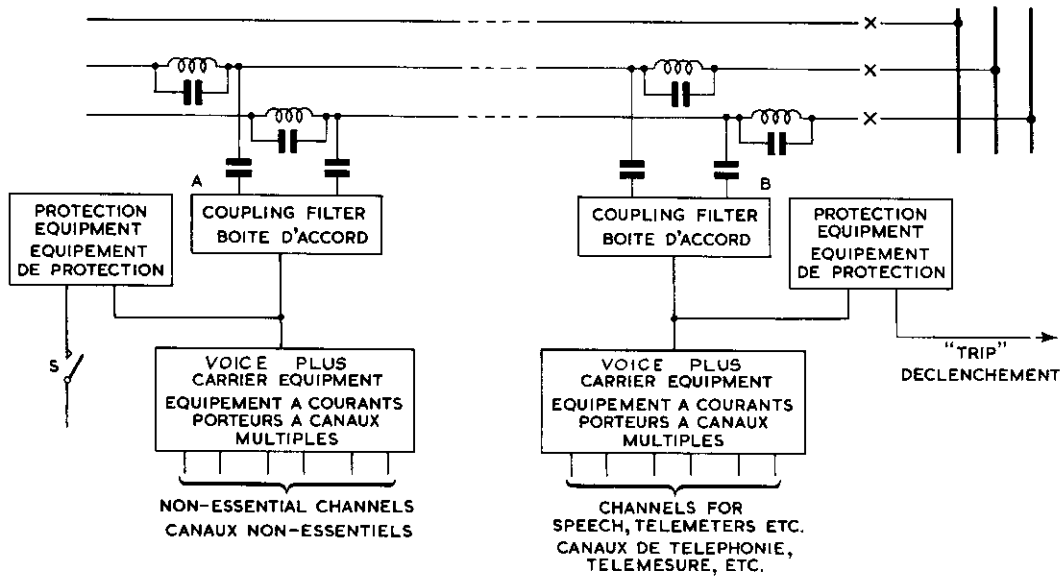


Figure 3.19 - Liaison mixte téléphonie - protection sur courants porteurs à couplage inter-phases, dans le sens A → B seulement

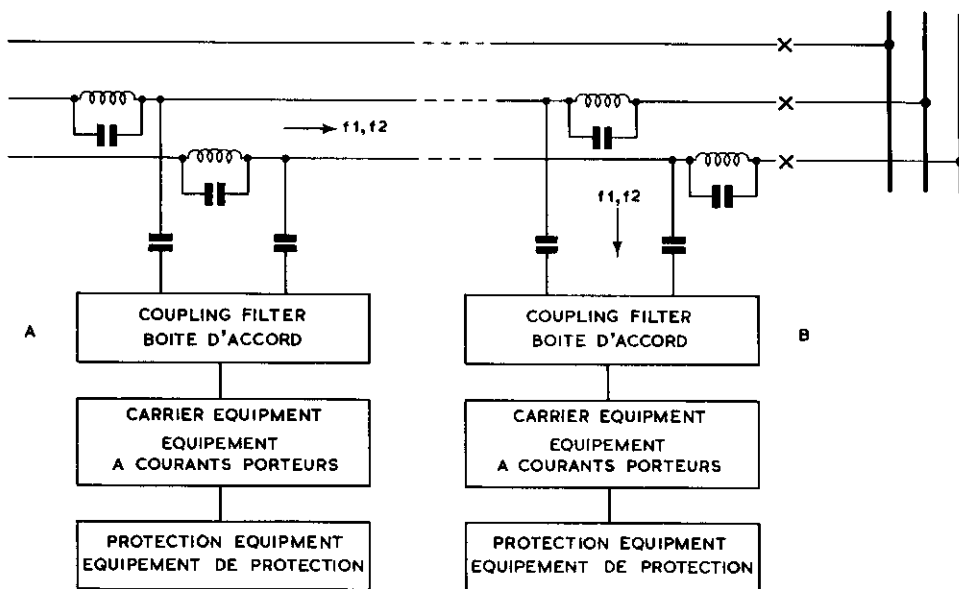


Figure 3.20 - Transmission de protection à déplacement de fréquence par courants porteurs

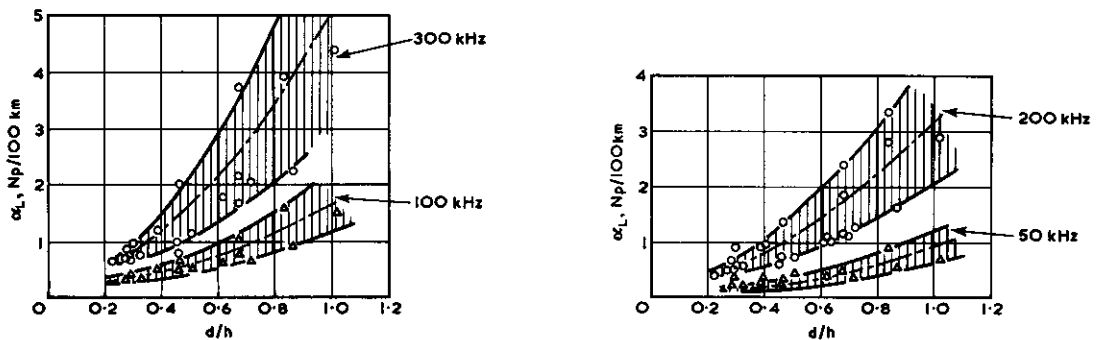


Figure 3.21 - Affaiblissements de ligne courants pour diverses valeurs de d/h (distance entre conducteurs/ hauteur au-dessus du sol) (d'après le rapport CIGRE 319 - 1962)

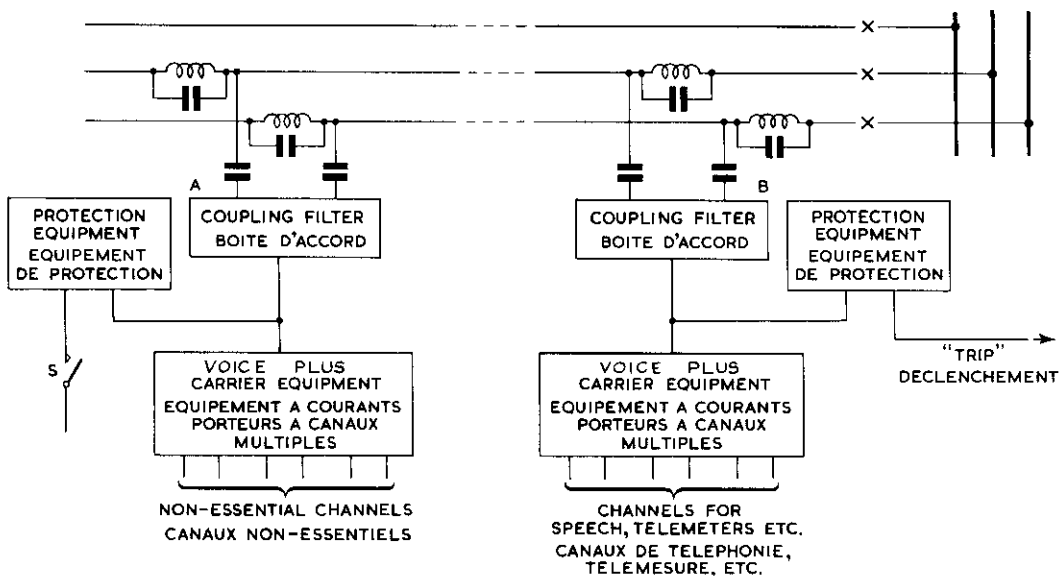


Figure 3.19 - Composite speech and protection facilities on P.L.C. phase/phase coupling in direction A→B only

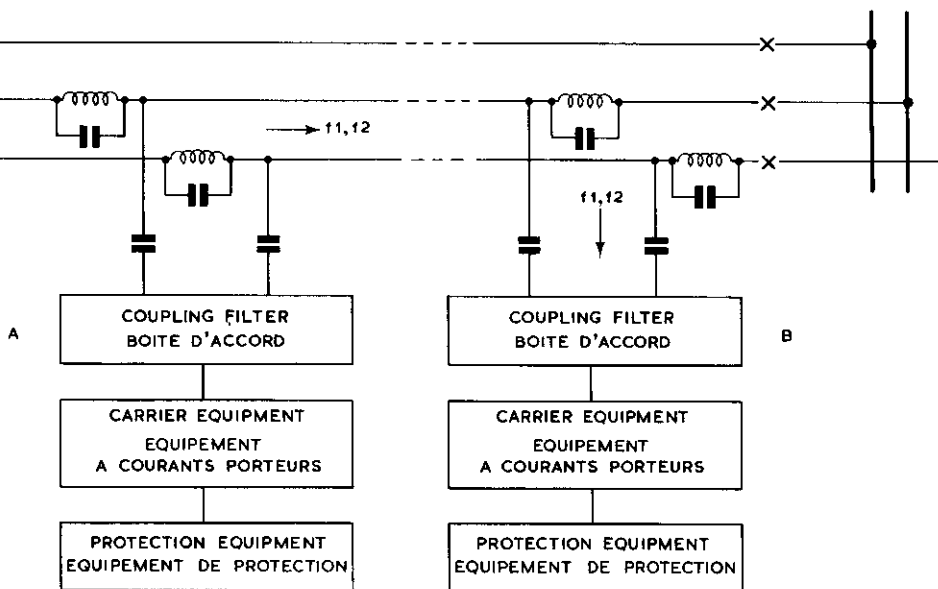


Figure 3.20 - Frequency shift carrier protection signalling

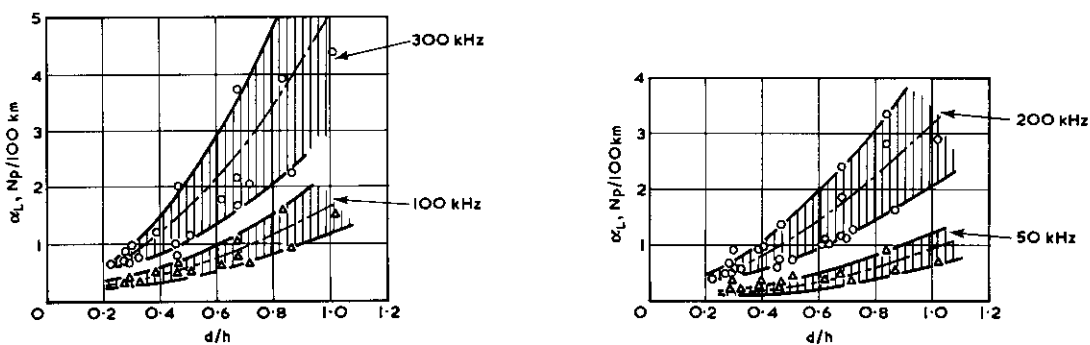


Figure 3.21 - Typical line attenuation for various values of d/h (Distance between H.V. wires/height over ground) (From CIGRE paper 319, 1962)

L'affaiblissement cependant, peut prendre des valeurs considérablement plus élevées que celles obtenues dans les conditions météorologiques normales, si les conducteurs de la ligne d'énergie sont recouverts de givre comme cela arrive fréquemment dans certains pays pendant l'hiver.

Le givre peut provoquer couramment la multiplication par deux ou trois des valeurs d'affaiblissement obtenues dans les conditions météorologiques normales. Les causes de cette augmentation de l'affaiblissement ont été étudiées par Mikkelsen et elle a pour origine les pertes diélectriques dans la couche de givre.

Dans la technique des courants porteurs sur les lignes d'énergie, la propagation des signaux entre les conducteurs de la ligne, le ou les câbles de garde et le sol est la combinaison de plusieurs modes différents, chacun se propageant avec un certain affaiblissement et une certaine vitesse. Le couplage peut être effectué en phase - terre ou en inter-phase entre deux phases ou plus, mais dans tous les cas les couplages mutuels aboutissent à l'établissement de divers modes mettant en jeu même les conducteurs non couplés. Les modes les plus affaiblis (ceux qui mettent en jeu le sol) disparaissent avec la progression du signal le long de la ligne de sorte qu'au-delà d'une certaine distance, il s'établit une combinaison stable des modes.

Dans le cas du couplage inter-phases, une combinaison des modes les moins affaiblis est émise ce qui aboutit à un affaiblissement global moins grand. Cette méthode est généralement utilisée pour les lignes longues et pour les signaux à courants porteurs de télédéclenchement et l'accélération de stade des protections de distance. Pour augmenter la sécurité de fonctionnement, on peut utiliser quelquefois une phase de chacun des ternes de deux lignes à haute tension, montées sur les mêmes poteaux ou les mêmes pylônes (couplage entre ternes) ou bien sur des poteaux ou pylônes différents mais suivant le même trajet ou un trajet comparable, (couplage "inter-lignes"). Environ 80 % de tous les défauts sont des défauts monophasés si bien que le couplage inter-phases sur deux ternes ou sur deux lignes semble être une disposition plus sûre.

Il faut faire particulièrement attention au choix d'une fréquence convenable dans la plage des fréquences porteuses. En bas de la plage, l'affaiblissement supplémentaire apporté par les circuits - bouchons tend à compenser l'affaiblissement plus faible apporté par la ligne, en particulier dans le cas de lignes haute tension à fort courant où l'on a tendance à mettre des circuits - bouchons peu coûteux avec une faible inductance.

Dans le haut de la plage de fréquences (au-dessus de 200 kHz), le grand affaiblissement apporté par la ligne, en particulier pour les lignes longues, ne peut pas toujours être compensé par une puissance accrue émise par l'équipement à courants porteurs à cause des réglages des P. T. T. qui limitent la puissance de sortie autorisée.

Le temps de transmission est généralement inférieur à 1 ms par 160 km, temps auquel il faut bien entendu ajouter le temps de transmission à travers le récepteur, ce dernier temps étant inversement proportionnel à la largeur de bande des filtres utilisés. La largeur de bande est limitée à celle de la voie à courants porteurs mais c'est généralement suffisant pour des signaux de protection ou de commande (voir tableau 4-4).

3.3.3 - Perturbations et bruit

Il faut tenir compte des sources suivantes de perturbations et de bruit :

- (a) Bruit de la ligne d'énergie dû à l'effet couronne
- (b) Impulsions de courte durée (1 à 3 ms) produites par l'ouverture ou la fermeture des disjoncteurs
- (c) Impulsions de longue durée (0,5 à 8 secondes environ) produites par l'ouverture ou la fermeture de sectionneurs sur des jeux de barres hors tension et lignes courtes
- (d) Impulsions de longue durée (0,5 à 3 secondes environ) produits par des défauts entre phases ou entre phase et terre sur la ligne.
- (e) Perturbations (diaphonie due aux installations voisines à courants porteurs sur les lignes, émetteurs radio grandes ondes, produits d'intermodulation à l'intérieur de l'équipement à courants porteurs lui-même, foudre).

Les niveaux usuels pour les différents types de bruits sont donnés dans la section 3.1.1.1. Pour les voies à courants porteurs sur les lignes d'énergie, le bruit dû à l'effet couronne a généralement un niveau faible. Alsleben a publié des chiffres de niveaux de bruit usuels

The attenuation can be significantly higher than the normal weather value, however, if the power line conductors are coated with ice as may frequently be the case in certain countries during winter conditions.

Such icing can commonly produce attenuation values of two to three times the normal weather value. The cause of this increase in attenuation has been investigated by Mikkelsen and is the result of the dielectric losses in the ice coating.

In the power line carrier technique the propagation of the signals by the high voltage conductors, the earth conductor(s) and the ground may be by the combination of several different modes which each propagate with a certain loss and velocity. The coupling of the signal may be on a phase-ground basis or between two or more of the phases, but in either case the mutual couplings result in various modes being established, even involving the uncoupled conductors. The most lossy modes (those involving the ground) die out as the signal progresses down the line so that after some distance a stable mode pattern is established.

In the case of phase-phase coupling a less lossy mode structure is launched which usually results in less overall attenuation. This method is usually employed on long lines and for carrier transfer or distance protection acceleration signals. To improve reliability sometimes one phase on each of two high voltage circuits on the same pole or tower (inter-circuit coupling) or on different poles or towers on the same or a similar route ("Inter-system" coupling) may be utilised. About 80 % of all faults are single phase faults so that phase-phase coupling on two circuits or two systems appears to offer a more secure arrangement.

Special attention has to be paid to the choice of a suitable frequency range in the carrier spectrum. In the lower frequency range, the additional attenuation produced by the wave traps tends to compensate for the lower line attenuation, especially in cases where high current high voltage lines call for economical wave traps with lower inductance.

In the higher frequency range (say above 200 kHz) the higher line attenuation, especially on long high voltage lines, cannot always be overcome by high power PLC equipment due to PTT regulations which restrict the permitted power output.

Transmission time is usually less than 1 ms per 160 km to which, of course, must be added the transmission time through terminal equipment, the latter time being inversely proportional to the bandwidth of the filters used. Bandwidth is limited to that of the carrier channel but this is generally adequate for protection or control signals. (See Table 4-4).

3.3.3 - Interference and Noise

The following sources of interference and noise have to be taken into account :

- (a) Power line noise generated by corona.
- (b) Short lived bursts (lasting 1 - 3 ms) generated at the instant of the opening and closing of breakers.
- (c) Long lived bursts (approximately 0.5 - 8 secs.) generated by the opening and closing of isolators onto non-energised busbars and short lines.
- (d) Long lived bursts (approximately 0.5 - 3 secs.) generated by phase-phase or phase-ground faults on the line.
- (e) Interference (cross talk from neighbouring PLC installations, long wave radio transmitters, and intermodulation products within the same PLC installation, and lightning).

Typical levels for various types of noise are given in Section 3.1.1.1. On power line carrier channels, noise, due to corona on the line, is usually of a low level. Alsleben has

mesurés dans une bande de 5 kHz : ils sont de - 35 dBm à - 17,5 dBm sur les lignes de 110 à 220 kV. Pour les lignes à 380 kV, il a indiqué - 9 dBm comme étant une valeur classique. Le bruit dû à l'effet couronne étant un mélange de bruit blanc et de bruit impulsif, son niveau varie suivant une loi comprise entre la proportionnalité à la racine carrée de la largeur de bande et la proportionnalité directe à la largeur de bande des filtres.

Le disjoncteur lui-même, au moment où il coupe le courant de défaut, fait naître une brève impulsion de bruit H.F. qui peut provoquer un fonctionnement intempestif d'un équipement de téléprotection placé sur des lignes voisines. Par exemple, l'élimination d'un défaut sur une ligne peut produire des perturbations qui peuvent causer un fonctionnement intempestif d'un équipement d'accélération de stade d'une ligne voisine. La possibilité d'un tel fonctionnement intempestif est bien entendu rendue aussi improbable que possible par l'utilisation d'un code convenable dans l'équipement d'accélération de stade.

De la même façon, les manoeuvres de sectionneurs peuvent produire un bruit relativement long (jusqu'à par exemple 8 secondes, selon le temps de fonctionnement du sectionneur) qui est même plus important que celui créé par un disjoncteur (voir section 3.1.1.1).

L'arc d'un défaut constitue lui-même une source de bruit haute fréquence à large bande. Immédiatement après un amorçage, l'arc peut présenter une grande impédance et par conséquent produire du bruit avec une certaine puissance. Au fur et à mesure que l'arc s'établit, un courant important circule et l'impédance présentée par l'arc diminue et avec elle le niveau de bruit produit. La période d'amorçage de l'arc pendant laquelle le niveau de bruit est élevé est de très courte durée (1 ou 2 ms) et elle ne perturbe pas la transmission des signaux de protection qui ne commence qu'après un temps de 10 à 15 ms environ selon les temps de fonctionnement des relais de mise en route. Une étude plus détaillée des sources et des grandeurs du bruit est donnée dans la section 3.1.1.1.

L'équipement peut être conçu pour avoir une immunité relativement bonne contre les effets de telles perturbations, en particulier en utilisant une combinaison bien étudiée de circuits limiteurs et de filtres à l'entrée des récepteurs. Le fonctionnement par déplacement de fréquence, plutôt que la modulation d'amplitude, est couramment utilisé. Le niveau de perturbations auquel est soumis le récepteur est bien entendu fonction de la largeur de bande du récepteur, une bande étroite procurant un bas niveau de perturbations dans le récepteur. Il faut cependant remarquer que plus la bande est étroite, plus le temps de réponse du récepteur est grand, si bien que l'amélioration obtenue sur le rapport signal/bruit en utilisant des filtres étroits doit être considérée à la lumière de l'augmentation du temps de transmission qui en résulte. La réduction de la largeur de bande du récepteur, qui peut être rendue aussi étroite que l'on veut, entraîne une augmentation du temps de transmission.

Quant on applique brusquement une fréquence f_0 à l'entrée d'un filtre de fréquence centrale f_0 , la réponse à la sortie est telle que le montre la figure 3.22. Cet effet d'excitation des filtres est provoqué principalement par du bruit de type impulsif. Les filtres doivent être conçus pour réduire cet effet.

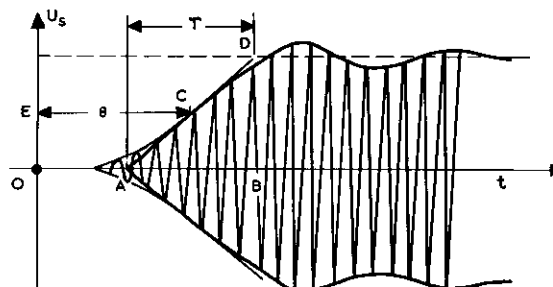


Figure 3.22 - Réponse d'un filtre passe - bande à l'application brusque d'une tension sinusoïdale de fréquence F_0 .

Le défaut sur le réseau lui-même, s'il affecte la ou les phases utilisées pour le couplage, a pour effet d'augmenter l'affaiblissement du canal de la porteuse en se mettant en parallèle sur le circuit, réduisant ainsi le signal reçu. Cet affaiblissement supplémentaire dépend du mode de propagation des courants H.F. dans la ligne au point considéré, mode qui est bien entendu fonction de la méthode de couplage, de la technologie de la ligne et de la distance du défaut. Comme l'indique la section 2, l'importance de cet effet n'est notable que pour les systèmes qui transmettent une information pendant un défaut interne.

published typical noise level figures measured in 5 kHz bandwidth of - 35 dBm to - 17.5 dBm on 110 - 220 kV lines. On 380 kV lines he quotes - 9 dBm as a typical value. Corona noise level being a mixture of white noise and impulsive noise varies according to a law between being proportional to the square root of the bandwidth and directly proportional to the filter bandwidth.

The circuit-breaker itself, while breaking the fault current, gives rise to a short burst of H.F. noise which may cause unwanted operation of protection signalling equipment on neighbouring circuits. For example, the clearance of a fault on one circuit may produce interference which will cause spurious operation of protection acceleration equipment on an adjacent circuit. The possibility of such spurious operation is, of course, made as remote as possible by the use of suitable coding in the acceleration equipment.

In the same way, the operation of isolators can produce noise of relatively long duration (e.g. of up to 8 secs. depending on the operating time of the isolator) which is even more intense than that caused by a circuit-breaker. (See Section 3.1.1.1.)

The fault arc itself constitutes a wide band source of high frequency noise. Immediately after initiation, the arc may have a high impedance and thus generate powerful noise. As the arc becomes established and a heavy current flows, the arc impedance falls and with it the generated noise level. The initial period of arcing during which the noise is at a high level is of very short duration (1 or 2 ms) and does not interfere with the transmission of protection signals which will normally only commence after a period of some 10 - 15 ms depending on the operating times of the associated initiating relays. A more detailed treatment of sources and magnitudes of noise is given in Section 3.1.1.1.

Equipment can be designed to be relatively immune from the effects of such interference, particularly by the use of well-designed combination of limiters and filters at the input to the receivers. Frequency shift operation as opposed to amplitude modulation is commonly used. The level of interference to which the receiver is subjected, is, of course, a function of the bandwidth of the receiver, a narrow bandwidth giving a low interference level in the receiver. It has to be realised, however, that the narrower the bandwidth the longer the response time of the receiver, so that the improvement in signal/noise ratio that can be gained by narrow band filtering has to be considered in the light of the increase in signalling time which will result. Reducing the receiver bandwidth, which can be made as narrow as wanted, implies an increase in the time of transmission.

When a frequency f_0 is suddenly applied at the input of a filter of centre frequency f_0 , the response at the output is as given in figure 3.22. This effect called "ringing" of filters will be initiated mainly by burst-type noise. Filters have to be designed to minimise this effect.

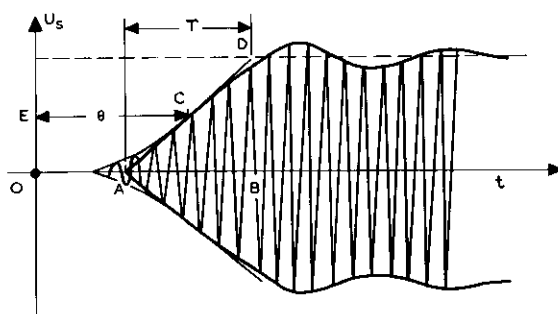


Figure 3.22 - Response of a band-pass filter when a sinusoidal voltage of frequency f_0 is suddenly impressed

The power fault itself has, provided it involves either the coupled phase or phases, an effect in increasing the carrier channel attenuation by bridging the circuit thereby reducing the received signal. This additional attenuation depends on the mode of flow of H.F. currents in the line at the position concerned, which is, of course, related to the method of coupling, line construction and distance to the fault point. As shown in Section 2, this effect is important only in systems which transmit information during internal faults.

Des valeurs usuelles d'affaiblissement supplémentaire dû aux défauts sont données dans le tableau 3-7 pour différents défauts. Les courants de défaut sur la ligne étaient de 2500 à 4000 A et les défauts se situaient à 800 mètres (2000 pieds) de l'extrémité de la ligne. Les chiffres publiés (relatifs à des connexions métalliques simulant les défauts) donnent des affaiblissements pouvant être d'environ 20 dB plus grands que ceux rencontrés en pratique. Il y a de grandes variations dans chaque cas particulier à cause des réflexions et des transformations de modes. Il faut également tenir compte de la désadaptation des émetteurs et des récepteurs. Perz et Wedepohl ont développé une méthode pour la prédiction des affaiblissements des modes et de l'effet des défauts. (voir section 9.2.7).

TABLEAU N° 3-7

ORDRES DE GRANDEUR DE L'AFFAIBLISSEMENT SUPPLEMENTAIRE APORTE
PAR DES DEFAUTS AVEC ARCS, AVEC COMPARAISON DES PERFORMANCES
DU COUPLAGE INTER-PHASES ET DU COUPLAGE PHASE - TERRE

Type de défaut	Conducteur (s) sur le (s) quel (s) à lieu le défaut	Type de couplage		Tension d'essai
		Phase - terre	Interphase	
Monophasé à la terre	Non couplé	5 dB	1,7 dB	220 kV
Monophasé à la terre	Le conducteur couplé	14 dB	4,3 dB	
Entre deux phases	Un conducteur couplé	10 dB	3,5 dB	
Entre deux phases	Les deux conducteurs couplés	20 dB	13 dB	
Triphasé à la terre	Les deux conducteurs couplés		22 dB	
Entre deux phases sur un jeu de barres	Les deux conducteurs couplés		30 dB	15 - 20 kV
Entre deux phases au niveau du dispos. de couplage	Les deux conducteurs couplés		45 dB ou plus	

Afin de surmonter les effets combinés des niveaux de bruit plus importants et de l'atténuation supplémentaire, on peut adopter les procédés suivants (un seul d'entre eux ou la combinaison de plusieurs) :

- (a) Utilisation d'une puissance émise relativement grande (par exemple 10 à 20 watts) uniquement lorsque la transmission est limitée à la durée d'un défaut. L'émetteur est normalement au repos ou il peut émettre un signal de surveillance à un faible niveau.
- (b) "Renforcement de puissance", système dans lequel la fréquence de veille normalement présente est émise à un niveau relativement bas mais lorsque la fréquence est déplacée et devient la fréquence de commande du déclenchement, une puissance plus importante est émise en ligne pendant un bref instant.
- (c) Dans les systèmes combinant la téléphonie et les téléinformations, on peut souvent s'arranger pour supprimer momentanément la téléphonie qui n'est pas fondamentale ou d'autres canaux en parallèle de telle façon que leur puissance puisse être utilement employée pour renforcer la transmission de la fréquence de commande du déclenchement. Ce procédé peut être associé à celui du renforcement de puissance (voir Fig. 3.23).
- (d) Choix du moment opportun de la transmission du signal de déclenchement ou de verrouillage de façon telle que le bruit produit par les disjoncteurs ne coïncide pas avec la transmission.
- (e) Doublement des canaux de transmission combiné à un verrouillage mutuel de ces canaux pour éviter un déclenchement intempestif.
- (f) Utilisation d'un couplage inter-phases (entre deux ternes ou deux lignes, voir section 3.3). Dans le cas des lignes longues, une étude attentive du mode de propagation peut faciliter le choix des phases les plus efficaces.

Typical values of additional attenuation due to faults are given in Table 3-7 for various faults. The line faults were of 2500 - 4000 A and were applied 2000 feet (800 metres) from the end of the line. Figures published (for metallic connections representing faults) give attenuations up to about 20 dB higher than those existing in practice. There are large amplitude local variations due to reflection and the effect of mode changes. Mismatching of the carrier transmitters and receivers must also be taken into account. Perz and Wedepohl have evolved methods for prediction of the mode losses and the effect of faults. (See Section 9.2.7.).

TABLE NO. 3-7

APPROXIMATE ADDITIONAL ATTENUATION PRODUCED BY ARCING FAULTS
SHOWING COMPARATIVE PERFORMANCE OF PHASE-PHASE AND
PHASE-EARTH COUPLING

Type of Fault	On Conductor	Type of Coupling		Test Voltage
		Phase-Earth	Phase-Phase	
Phase-earth	Non-coupled	5 dB	1.7 dB	220 kV
Phase-earth	One coupled conductor	14 dB	4.3 dB	
Phase-phase	One coupled conductor	10 dB	3.5 dB	
Phase-phase	Both coupled conductors	20 dB	13 dB	
Three-phase-earth	Both coupled conductors		22 dB	15 - 20 kV
Busbar, phase-phase	Both coupled conductors		30 dB	
At coupling unit phase-phase	Both coupled conductors		45 dB or higher	

In order to overcome the combined effects of increased noise levels and increased attenuation the following procedures can be adopted (individually or combined) :

- (a) The use of a relatively high transmitted power (e.g. 10 - 20 watts) only when transmission is limited to the duration of a fault. The transmitter may be normally quiescent or may send a low level supervisory signal.
- (b) "Power Boost" whereby the normally present guard frequency is sent at a relatively low level but when the frequency is shifted to the "trip" frequency an increased power is sent to the line during a short time.
- (c) In multi-purpose systems, arrangements are often made to momentarily suppress the non-essential speech or other superimposed channels so that their power may be usefully employed to reinforce the trip frequency transmission. This can be combined with power boosting. (See Fig. 3.23).
- (d) Proper timing of the transmission of the tripping or blocking signal in such a way, that the noise generated by the circuit-breakers does not coincide with the transmission.
- (e) Doubling of transmission channels combined with interlocking of the channels in order to prevent unwanted tripping.
- (f) Use of phase-to-phase (inter-circuit or inter-system, see Section 3.3) coupling. In the case of long HV-lines, careful consideration of mode propagation can facilitate the choice of the best phase(s).

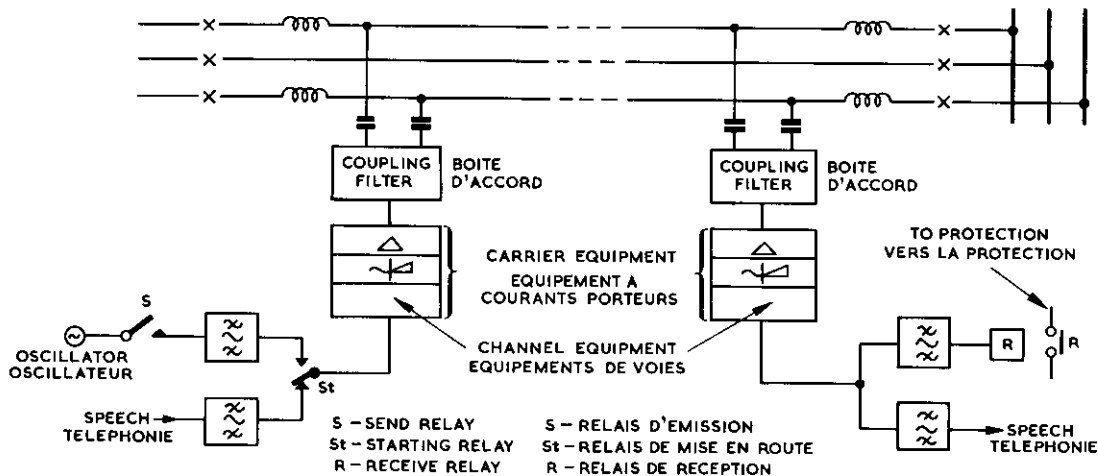


Figure 3.23 - Dispositif mixte téléphonie - protection sur un équipement à courants porteurs sur ligne d'énergie

- (g) Utilisation d'une plage de fréquences correcte dans le spectre. Par exemple on préfère les fréquences les plus basses qui ont un faible affaiblissement dans les conditions normales, en particulier pour les lignes longues.

3.3.4 - Sécurité de fonctionnement

La sécurité de fonctionnement d'une transmission par courants porteurs est au moins aussi bonne que celle de la ligne d'énergie, et dans le cas d'un couplage inter-phases, en particulier sur les lignes à deux ternes, elle est meilleure que celle d'une ligne d'énergie à un seul terna. La transmission par courants porteurs sur fils de terre isolés, à des fins de protection, est moins recommandée car ces fils de terre isolés sont exposés à la foudre et aux décharges atmosphériques. Par conséquent ils sont sujets à présenter relativement souvent des amorçages sur les éclateurs, produisant ainsi du bruit impulsif. La sécurité de fonctionnement des systèmes à courants porteurs appliqués à la téléprotection dépend de la façon dont on les utilise (voir sections 2 et 3.1).

3.3.5 - Règlements limitatifs

Dans de nombreux pays, il existe des limitations sévères dues aux P.T.T. en ce qui concerne les bandes de fréquences allouées et les puissances d'émission autorisées pour les équipements à courants porteurs (avec ou sans renforcement de puissance). Les fréquences se placent généralement dans la plage 30 - 500 kHz (voir tableau 3-1) ; les niveaux autorisés pour une émission permanente varient beaucoup d'un pays à l'autre, mais un niveau de 0,5 watt est communément accepté. Une émission intermittente de courte durée, par exemple pendant un défaut, peut être autorisée à un niveau de 10 à 20 watts.

Cette technique ne peut pas, par conséquent, dans de nombreux pays, être pleinement exploitée jusqu'aux limites réelles de son utilité.

3.4 - LIAISONS RADIO

3.4.1 - Méthode de signalisation

Une liaison radio autorise généralement l'usage de toutes les méthodes de signalisation utilisables par les courants porteurs sur les lignes ou par les circuits téléphoniques à l'exception bien entendu de la signalisation par courant continu sur des fils. Ces méthodes comprennent la modulation en amplitude d'une porteuse, le déplacement de fréquence ou la modulation en fréquence ou en phase de la porteuse et les systèmes codés tels que la modulation par tout ou rien de la porteuse et les modulations d'impulsions en position, en amplitude et codées. Les liaisons radio, cependant, autorisent généralement une vitesse de transmission de l'information plus élevée que celle qui est possible sur des circuits de types commerciaux, parce que la bande passante est ou peut être facilement rendue plus large. Cet avantage est d'autant plus net que la fréquence de la porteuse est plus élevée. La largeur de bande d'un système utilisant un seul canal S.H.F. est théoriquement équivalente à 2000 circuits téléphoniques ou plus.

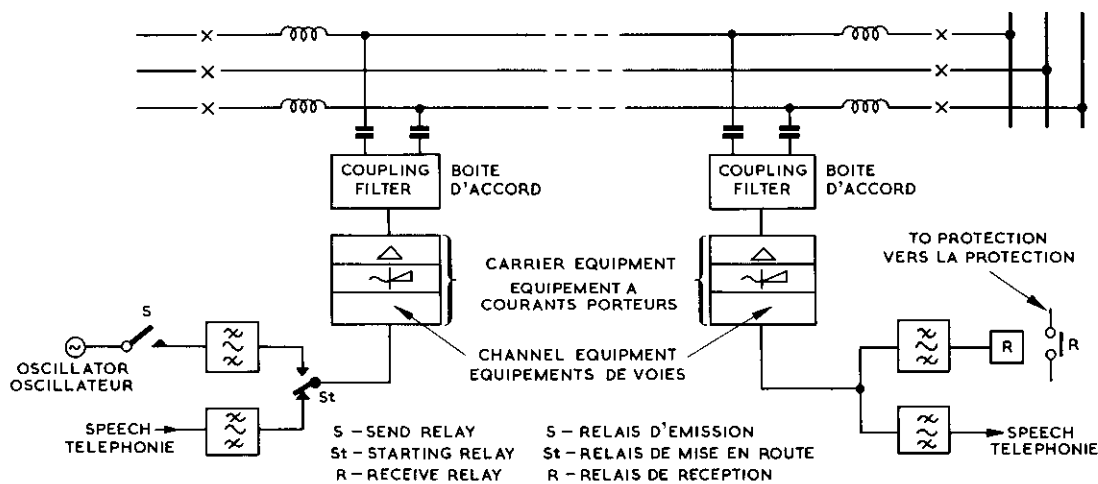


Figure 3.23 - Composite speech and protection facilities on power line carrier communications equipment

- (g) Use of a suitable frequency range in the carrier spectrum, e.g. lower frequencies having reduced normal attenuation are preferred, particularly on long lines.

3.3.4 - Reliability

The reliability of PLC transmission path is at least as good as the power line itself, and in case of phase-to-phase coupling, especially on double circuit power lines, is better than the reliability of a single circuit line itself. Transmission on insulated ground wires by carrier-current for protection purposes is less recommended since insulated earth wires are exposed to lightning and atmospheric discharges. They thus tend towards relative frequent flashover at the spark gaps, thus generating noise bursts. The reliability of the PLC system when applied to teleprotection depends on the way in which it is used. See Sections 2 and 3.1.

3.3.5 - Restricting Regulations

In many countries considerable restrictions exist from the PTT concerning the permitted carrier current frequency bands, and the permitted transmitting power (with or without short time power boosting) of the PLC equipment. Frequencies lie typically in the range 30 - 500 kHz (see Table 3-1), permitted levels of continuous transmitted power vary considerably from country to country, but a level of 0.5 watt is commonly accepted. Short intermittent transmissions e.g. during a fault, may be permitted at a level of 10 - 20 watts.

This technique cannot, therefore, be fully exploited in many countries to the limits of its practical usefulness.

3.4 - RADIO LINKS

3.4.1 - Method of Signalling

A radio circuit will generally allow the use of all methods of signalling available to power line carrier or telephone circuits with, of course, the exception of d.c. current signalling over wires. These methods include amplitude modulated carrier, frequency shift or frequency and angle modulation of the carrier and the pulse systems such as carrier on/off signalling, pulse-rate, pulse-amplitude and pulse-code modulation. Radio systems, however, usually permit a faster signalling rate than is possible over the commercial type of line circuit because the transmission bandwidth is, or may easily be made, much wider. This advantage becomes more marked as the carrier frequency becomes higher. The transmission bandwidth of the single S.H.F. channel system can theoretically be made equivalent to 2000 or more telephone circuits.

Par conséquent, si la vitesse de fonctionnement, associée à codage sûr (un codage sûr exige une information redondante et demande généralement une plus grande largeur de bande), est exigée pour des usages de protection, alors un système à fréquence radio plus élevée la réalisera plus facilement qu'un système à fréquence radio plus faible.

Des systèmes de transmission point à point permettant l'usage d'un seul canal téléphonique ou d'un petit nombre de canaux téléphoniques pouvant fonctionner simultanément (généralement 4 à 24) sont très couramment utilisés. La mise en parallèle des canaux (ou "multiplexage") est faite par des techniques téléphoniques classiques dans lesquelles les fréquences musicales sont transposées par modulation d'amplitude en "sous-porteuses" (par exemple dans la plage 0,3 à 54 kHz) qui à leur tour servent à moduler la porteuse radio en amplitude ou en fréquence ou par des techniques de modulation par impulsions codées (P.C.M.) (voir la section 3.1.2.2 et les annexes A1 et A3).

Le filtrage et la transposition inverse des fréquences dans la bande musicale (environ 300 Hz à 3 kHz), sont effectués dans le récepteur éloigné. Il faut noter que lorsqu'une fréquence musicale donnée doit être exactement reproduite dans le récepteur, cela exige que les oscillateurs locaux du modulateur et du démodulateur aux deux extrémités aient des fréquences identiques; cette condition est virtuellement impossible à obtenir avec la disposition classique d'un appareillage de multiplexage téléphonique.

Ceci peut être important pour les télécommunications liées à un réseau électrique où la télétransmission exacte d'une fréquence musicale peut être nécessaire pour la mesure à distance de la fréquence du réseau, etc...

3.4.2 - Types de circuits

Le choix de circuits H.F. (haute fréquence), V.H.F. (très haute fréquence), U.H.F. (ultra haute fréquence) ou S.H.F. (supra haute fréquence) dépend du genre de performances que l'on exige. Dans le cas présent, la performance exigée est une transmission de signaux pour la protection et en général, cela implique une transmission de point fixe à point fixe, ayant une grande sécurité de fonctionnement et une bonne immunité contre le bruit et les perturbations.

En pratique, les bandes de fréquences sont en réalité au voisinage de 80 et 160 MHz pour les V.H.F., 470 et 1 500 MHz pour les U.H.F., 7 500 et 12 000 MHz pour les S.H.F., bien que des systèmes utilisant la bande 3-30 MHz (H.F.) puissent trouver des applications limitées dans certains pays. Les limites réelles des bandes utilisables dépendent des règlements locaux en vigueur dans chaque pays. Les caractéristiques du circuit sont entièrement déterminées par la longueur d'onde d'émission. Au fur et à mesure que la longueur d'onde devient plus courte, les propriétés de propagation changent. En montant des V.H.F. aux U.H.F. et aux S.H.F., il devient plus facile d'utiliser des aériens de plus en plus hautement directifs. Par contre l'effet des obstacles sur le trajet des ondes devient plus prépondérant. Tout se passe comme si plus la longueur d'onde est courte, plus les zones qui ne sont pas en visibilité directe à cause des obstacles ("zones d'ombre") deviennent "silencieuses" et plus leurs contours sont nettement définis.

(a) Systèmes utilisant la bande H.F. (3 - 30 MHz)

Les systèmes radio haute fréquence fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 - 30 MHz conviennent généralement davantage pour les longues distances que pour les courtes distances parce qu'à ces fréquences la propagation de l'onde de sol, (c'est-à-dire l'onde polarisée verticalement qui suit le sol et est guidée par lui) utilisée en basses et moyennes fréquences, s'affaiblit très rapidement avec la distance.

La propagation de ces fréquences dépend de l'ionosphère ce qui fait que la qualité de la liaison radio est fonction de nombreux facteurs tels que la fréquence, l'heure de la journée, le champ magnétique terrestre, l'activité solaire ainsi que la longueur et la direction de la liaison, si bien qu'il devient très difficile de généraliser les propriétés de ces liaisons. Cependant, pour obtenir un service continu sur 24 heures, il est en général nécessaire de changer de fréquence entre le jour et la nuit.

Les liaisons sont sujettes aux perturbations d'origine humaine et à la foudre. La partie du spectre concernée est excessivement encombrée et il peut être difficile d'obtenir des autorisations.

Hence, if speed of operation, combined with a reliable coding (a reliable code requires redundant information and generally needs more transmission bandwidth), is required for protection purposes, then a higher frequency radio will do this more easily than a lower frequency radio system.

Point-to-point systems providing either a single speech channel or a small number of simultaneous speech channels (usually 4 to 24) are widely used. The channelling (or "multiplexing") is effected by the normal carrier telephony techniques in which voice frequencies are translated to carrier frequencies ("sub-carriers") for instance in the range 0.3 - 54 kHz which in turn are combined to amplitude or frequency modulate the radio carrier, or by pulse code modulation (P.C.M.) techniques. (See Section 3.1.2.2. and Appendices A1 and A3).

Filtering and re-translation of the frequencies to the voice band 300 Hz - 3 kHz approximately, is effected at the distant receiver. It should be noted that where a given voice frequency is to be exactly reproduced at the receiver, this requires the local oscillators in the modulator and demodulator units at the two ends to be of identical frequency ; a condition which is virtually impossible to achieve with the standard arrangement of telephone type multiplexing apparatus.

This can be of importance in power network telecommunications where exact teletransmission of an audio frequency may be required for remote measurement of system frequency etc.

3.4.2 - Type of Circuit

The choice of H.F. (high frequency), V.H.F. (very high frequency), U.H.F. (ultra high frequency) or S.H.F. (super high frequency) circuits depends upon the kind of service required. In the present case, the service required is signalling for protection and in general terms, this implies fixed point-to-point communication of great reliability with a high immunity to noise or interference.

In practice, actual frequency bands lie in the neighbourhood of 80 and 160 MHz (V.H.F.), 470 and 1500 MHz (U.H.F.), 7500 and 12000 MHz (S.H.F.), although 3 - 30 MHz (H.F.) systems may find limited application in some countries. The actual limits of the band available depend on local regulations in force in each country. The characteristics of the circuit are determined entirely by the wavelength of emission. As the wavelength shortens, the propagation properties change. From V.H.F. up to U.H.F. and S.H.F. it becomes more feasible to use more and more highly directive aeriels. On the other hand, the effect of obstacles in the transmission path becomes more severe. It is as though the shorter the wavelength the "blacker" and more well defined become the "shadows" caused by the obstacles.

(a) H.F. Systems (3 - 30 MHz)

High frequency radio systems operating in the frequency range 3 - 30 MHz are more generally suited to long range working than to short ranges because at these frequencies the ground wave mode of propagation (i.e. a vertically polarised wave that clings to and is guided by the earth) used at low and medium frequencies, attenuates very rapidly with distance.

Dependence on the ionosphere makes the quality of the radio path subject to many factors such as frequency, time of day, earth's magnetic field, solar activity and distance and direction of transmission, so that it becomes most difficult to generalise on the properties of such radio circuits. However, to maintain a 24 hour service, it is generally necessary to change frequency between day and night.

The circuits are subject to man-made and lightning interference. The part of the spectrum concerned is excessively over-crowded and frequency allocations may be difficult to obtain.

(b) Systèmes utilisant la bande V.H.F. (30 - 300 MHz)

Les systèmes V.H.F. travaillant aux alentours de 80 ou 160 MHz sont largement utilisés pour les stations mobiles où on reste pratiquement en visibilité directe, par exemple jusqu'à 80 km (50 miles).

Ils utilisent la modulation soit d'amplitude soit de fréquence et fournissent normalement un seul canal (300 - 3 500 Hz).

On peut utiliser des aériens directionnels de dimensions raisonnables et obtenir de bons rapports signal/bruit avec des émetteurs de puissance modeste (seulement quelques watts). Les problèmes d'allocations de fréquences sont nés du rétrécissement progressif de la bande séparant les différents systèmes adjacents si bien que des espacements de 25 kHz sont maintenant très courants (on commence à introduire des espacements de 12,5 kHz), ce qui exige une grande stabilité en fréquence des émetteurs et des récepteurs. Le même type ou un type semblable d'équipement peut également être utilisé pour des liaisons V.H.F. point à point. Leur utilisation est principalement limitée par le fait que le spectre V.H.F. est encombré dans beaucoup de pays, et par conséquent est l'objet de règlements des gouvernements nationaux.

(c) Systèmes utilisant la bande U.H.F. (460 - 470 et 1 500 MHz)

La bande U.H.F. peut être utilisée pour la transmission d'une station fixe à une station mobile et vice-versa ou pour des liaisons fixe à fixe. Dans le premier cas, la bande U.H.F. est moins bonne que la bande V.H.F. parce que les obstacles affectent ses performances plus sévèrement. Dans le second cas, la directivité de l'aérien est plus faible que pour les systèmes utilisant la bande S.H.F., mais la bande U.H.F. peut être mieux utilisée sur des trajets de qualité inférieure et, en général, les emplacements convenables sont moins difficiles à trouver.

Les systèmes U.H.F. commencent à être utilisés maintenant à cause de l'encombrement du spectre aux fréquences plus basses et le développement de nouvelles techniques a pour résultat une tendance à l'utilisation des fréquences plus élevées.

Les stations mobiles fonctionnant autour de 470 MHz sont utilisées et donnent des résultats satisfaisants dans les villes et sur les courtes distances.

Les bandes 470 MHz et 1 500 MHz commencent à être exploitées pour des liaisons entre deux stations fixes et elles sont intéressantes pour l'industrie électrique parce qu'elles offrent une largeur de bande suffisante pour plusieurs canaux phonie en utilisant cependant des aériens peu coûteux dont la directivité a pour résultat un gain apparent sur la puissance de l'émetteur.

Ces systèmes trouvent leurs applications dans la commande à distance de stations fixes principales V.H.F. et dans l'établissement de systèmes multiplex à faible nombre de canaux phonie. Les perturbations sont moindres que dans la bande V.H.F. et ceci rend ces systèmes intéressants pour la transmission de signaux de protection. Des stations relais peuvent être utilisées pour les longues distances et il est possible d'extraire un ou plusieurs canaux téléphoniques à des relais donnés pour les relier à un équipement local ou à d'autres systèmes.

Des équipements à multiplexage du genre de ceux décrits en 3.4.1 sont utilisés et la partie radio possède une largeur de bande suffisante pour autoriser des vitesses de transmission beaucoup plus élevées que celles obtenues avec des circuits en fils.

(d) Systèmes utilisant la bande S.H.F. (7 - 8 GHz et 10 - 15 GHz "ondes centimétriques")

La bande S.H.F. convient parfaitement pour les télécommunications entre deux stations fixes pourvu que le trajet des ondes soit bien dégagé d'obstacles. Cela entraîne en général que les stations soient sur des points hauts ou que l'on utilise des pylônes pour porter les aériens.

Les systèmes à ondes centimétriques (2 GHz et 4 GHz sont des fréquences utilisables dans certains pays) procurent des facilités pour avoir des bandes très larges capables dans certains cas de contenir plusieurs centaines de canaux téléphoniques ou de transmettre des signaux aux vitesses les plus élevées. Pour des applications dans l'industrie ou dans les Sociétés d'électricité, il existe également des types avec moins de canaux téléphoniques (6, 12 ou 24 canaux).

(b) V.H.F. Systems (30 - 300 MHz)

V.H.F. systems working in the 80 or 160 MHz neighbourhood are extensively employed for mobile operation where the ranges are quasi-optical, say up to 50 miles (80 km). They employ either amplitude or frequency modulation and normally provide a single channel (300 - 3500 Hz).

Reasonably compact directional aerials are possible and adequate signal/noise ratios can be obtained with modest transmitter powers of only a few watts. Frequency allocation problems have resulted in the progressive narrowing of channel spacing between different adjacent systems so that 25 kHz spacing is now quite common (and 12.5 kHz spacing is being introduced), requiring a high order of frequency stability in the transmitters and receivers. The same type or a similar type of equipment can also be used for V.H.F. point-to-point circuits. Its use is mainly restricted by the fact that this spectrum is overcrowded in most countries, and hence subject to government regulation.

(c) U.H.F. Systems (460 - 470 and 1500 MHz)

The U.H.F. band can be used for transmission from fixed to mobile and vice-versa or it can be used for point-to-point. In the former case, it is less successful than V.H.F. because obstacles affect its performance more drastically. In the latter case, the aerial directivity is less than for S.H.F. systems, but U.H.F. can be used to better effect over inferior paths and, in general, suitable sites are less difficult to find.

U.H.F. systems are only now coming into use because the crowding of the spectrum at lower frequencies and the development of new techniques results in a tendency to utilise higher frequencies.

Mobile systems in the 470 MHz region are in use and provide satisfactory service in cities and for shorter range operations.

The 470 MHz and the 1500 MHz bands are beginning to be exploited for fixed point-to-point systems and are attractive to the electricity industry because they provide sufficient bandwidth for several voice channels while still using relatively inexpensive aerials, the directivity of which results in an apparent power gain of the transmitter.

Such systems find application in the remote control of V.H.F. main base stations and in the provision of multiplexed speech systems having a small number of channels. Interference is less than in the V.H.F. band and this makes the systems attractive for the transmission of protection equipment signals. Repeater stations can be used to achieve long ranges and it is possible to extract one or more voice channels at given repeater stations for interconnection to local equipment or to other systems.

Multiplexing equipment of the type outlined in 3.4.1 is employed and the radio equipment has a sufficient bandwidth to be used for much higher speeds of signalling than are possible with wire lines.

(d) S.H.F. Systems (7 - 8 GHz and 10 - 15 GHz "Microwave")

The S.H.F. bands are ideally suited for fixed point-to-point communication, provided the radio path is well clear of obstacles. This generally means operating the stations from high ground and/or the use of towers to carry the aerials.

Microwave systems (2 GHz and 4 GHz are available in some countries) provide very wide band facilities capable in some cases of accommodating several hundred voice channels or of signalling at the highest speeds. For industrial and electricity utility applications types with fewer audio channels (6, 12, 24 voice channels) are also available.

Les deux types sont très largement utilisés dans certains pays pour les télécommunications liées à un réseau de transport d'énergie et comme de nombreuses fonctions telles que les télémesures, la téléphonie, la télésignalisation et la téléprotection peuvent toutes emprunter le même système, il faut obtenir de très forts coefficients de sécurité de fonctionnement dans la conception de l'équipement radio parce qu'il est commun à tous les signaux. Ceci est réalisé à l'aide d'un équipement de réserve et les chiffres publiés montrent que l'on obtient une sécurité de fonctionnement environ dix fois meilleure que celle obtenue avec des lignes téléphoniques souterraines en location. Les perturbations d'origine humaine sont négligeables et des aériens très fortement directionnels permettent de réduire la puissance d'émission à moins de 1 watt dans la plupart des cas. Les systèmes utilisant la bande S.H.F. tendent à être utilisés là où le nombre de canaux nécessaires et leur disposition géographique sont en faveur d'une liaison commune.

(e) Propagation par diffusion troposphérique

De tels systèmes sont forcément compliqués et coûteux et bien qu'il ne semble pas qu'ils puissent trouver actuellement d'applications dans les télécommunications liées à un réseau de transport d'énergie, on indique ici brièvement quelques renseignements pour être complets.

Ce mode de propagation repose sur la diffusion vers l'avant des ondes radio sur de petits "blobs" ou discontinuités de l'atmosphère. L'énergie diffusée peut être captée au-delà de l'horizon.

La quantité d'énergie ainsi diffusée est très petite et on utilise des émetteurs de forte puissance et des aériens parabolofdaux très directionnels qui ont un gain de 40 dB ou plus lorsque c'est possible.

Une limite de la propagation par diffusion est la largeur de bande relativement petite comparée à celle couramment obtenue avec les systèmes S.H.F. en visibilité directe. Cela provient de ce que l'énergie globale arrivant sur le récepteur est la somme d'un grand nombre de réflexions sur les différents "blobs". Les variations aléatoires de phase entre ces différents trajets rendent l'affaiblissement du trajet global très sensible à de petites variations de fréquences.

En général, le niveau de signal reçu change constamment et rapidement, mais avec une réserve d'affaiblissement de 25 dB le système reste utilisable, la liaison pouvant être assurée pendant plus de 99 % du temps.

Un système classique utilisant la diffusion troposphérique fonctionnant sur une distance de 241 km (150 miles) dans la bande 4,5 - 5 GHz avec 2 kW de puissance et quadruple diversité, procure 48 canaux téléphoniques avec une antenne de 10 pieds de diamètre.

Un système plus récent procure jusqu'à 8 canaux téléphoniques sur des distances atteignant 320 km (voir Section 9.2.5).

3.4.3 - Aériens (antennes)

Les aériens forment une partie intrinsèque de tous les systèmes radio et exigent une attention spéciale.

La façon la plus simple de considérer les aériens est de les considérer comme étant des éléments de circuit qui ont deux bornes d'entrée à l'antenne d'émission et deux bornes de sortie à l'antenne de réception. Entre les bornes d'entrée et de sortie, il y a une perte de puissance qu'on peut considérer comme un "affaiblissement de trajet" ou une "perte de trajet" et qui est généralement exprimée en décibels. Cette perte de puissance due au trajet comprend :

- 1/ La perte de puissance due au trajet, en décibels, si l'on avait utilisé des aériens complètement non-directionnels.
- 2/ Le "gain" de l'aérien d'émission en décibels.
- 3/ Le "gain" de l'aérien de réception en décibels.

Le gain de l'aérien indique simplement l'efficacité directionnelle de l'aérien par rapport à un aérien complètement non-directionnel ou "isotrope". Quelquefois le gain d'un aérien peut se référer à celui d'un dipole demi-onde qui a une faible efficacité directionnelle et dans ce cas le gain sera indiqué comme ayant 2 dB de moins que s'il se référait à un aérien isotrope.

Both types are widely employed in some countries for power system communications and as many services such as telemeters, speech, remote indication and protection can all be accommodated on the one system, very high orders of reliability have to be achieved in the design of the radio equipment which is common to all the signals. This is usually supported by a standby equipment and published figures show that reliability of an order ten times better than that achieved with rented underground telephone lines is achieved. Man-made interference is negligible and very highly directional aeriels enable the transmitter power to be reduced to less than 1 watt in many cases. S.H.F. systems tend to be employed where the number of channels required and their geographic layout favour a common link.

(e) Tropospheric Scatter Propagation

Such systems are inevitably complex and costly, and although it does not appear that they may find any application to power network telecommunications at the present time, some brief details are included for completeness.

This mode of propagation depends upon forward scattering of radio energy from small "blobs" or discontinuities in the atmosphere. The energy so scattered can be picked up beyond the horizon.

The amount of energy thus scattered is quite small and use is made of high transmitter powers and highly directional paraboloidal aeriels of 40 dB gain or more where possible.

A limitation of scatter propagation is the relatively small bandwidth compared to that usually obtained with line-of-sight S.H.F. systems. This arises because the total energy arriving at the receiver is the sum total of a large number of reflections from different "blobs". The random phase variations between these different paths renders the overall path attenuation very sensitive to small changes of frequency.

In general, the signal level is continuously and rapidly changing, but providing a fading margin of 25 dB is available, the service can be maintained for more than 99 % of the time.

A typical "microscatter" system operating over a 240 km path in the 4.5 - 5 GHz band with 2 kW power and quadruple diversity provides 48 voice channels and uses 10 ft. diameter antennae.

A more recent system provides up to 8 speech channels over distances up to 320 km. (See Section 9.2.5).

3.4.3 - Aerials (Antennae)

Aerials form an intrinsic part of any radio system requiring special consideration.

Aerials are most simply regarded as circuit elements having a pair of input terminals at the transmitting aeriels and a pair of output terminals at the receiving aeriels. Between input and output terminals there is a loss of power which is referred to as a "path attenuation" or "path loss" and is usually expressed in decibels. These are :

1. The loss of power over the path, in decibels, had the aeriels been completely non-directional.
2. The "gain" of the transmitting aeriels in decibels.
3. The "gain" of the receiving aeriels in decibels.

The gain of the aerial merely expresses the directional efficiency of the aerial when compared with a completely non-directional or "isotropic" aerial. Sometimes the gain of an aerial may be referred to a half-wave dipole aerial which has a slight directional efficiency and in this case the gain would be quoted as about 2 dB less than the isotropic case.

Il y a un certain nombre d'hypothèses de base impliquées par la définition de l'affaiblissement dû au trajet dans ce cas. Les plus importantes sont :

- 1/ Les aériens doivent être considérés comme étant en espace libre, par exemple à l'abri des réflexions sur le sol. De tels effets extérieurs doivent être ajoutés à l'estimation de l'affaiblissement dû au trajet.
- 2/ Les aériens doivent être séparés par des distances grandes devant leurs dimensions ou devant la longueur d'onde d'émission.
- 3/ La polarisation des aériens doit être la même, c'est-à-dire que le champ électrique issu de l'aérien d'émission doit être orienté pour produire un champ maximal sur l'aérien de réception.

Le gain d'un aérien d'émission est essentiellement obtenu en étalant un grand nombre de petits éléments de courant répartis dans un grand volume et en arrangeant la phase des courants et leurs positions suivant un schéma tel que les effets de leurs ondes se combinent en un point éloigné. L'aérien de réception fonctionne de façon inverse ; les ondes venant du point éloigné excitent les éléments de courant avec la même phase et la même position afin de donner la puissance maximale sur les bornes de sortie.

Il s'ensuit que le gain d'un aérien dépend de ses dimensions géométriques et de la longueur d'onde. Le gain en puissance d'un aérien est proportionnel au rapport de sa surface effective au carré de la longueur d'onde. Ainsi, lorsque la fréquence augmente, il est possible d'obtenir des gains importants avec des aériens relativement petits. Des chiffres pratiques usuels pour le gain maximal vont de 10 dB pour les systèmes H.F. jusqu'à 50 dB pour les systèmes S.H.F. Dans le premier cas, les aériens exigent une grande surface au sol mais dans le second, ils peuvent consister en un réflecteur parabolique d'environ 3 mètres (10 pieds) de diamètre.

Plus un aérien a un gain directionnel élevé, plus l'angle à l'intérieur duquel est concentrée la puissance devient petit. L'angle qui contient la plus grande partie de l'énergie rayonnée est appelé largeur du faisceau et elle est généralement définie par les angles sous lesquels la puissance tombe à la moitié de sa valeur maximale. Les largeurs de faisceaux vont de 90 degrés pour un dipole demi-onde à environ un demi-degré pour un aérien parabolique en ondes centimétriques.

Des lobes latéraux existent en même temps que le lobe principal. Leur angle avec le lobe principal et leur puissance par rapport à celle du lobe principal dépendent de la construction de l'antenne et de ses dimensions par rapport à la longueur d'onde. Lorsqu'on étudie des ouvrages en ondes centimétriques, il faut tenir compte d'une possible diaphonie due à la présence des lobes latéraux.

Le tableau 3-8 et la figure 3.24 donnent les propriétés et l'ordre de grandeur des dimensions de quelques uns des types les plus courants d'aériens utilisés dans les gammes de fréquences H.F., V.H.F., U.H.F. et S.H.F. Les dimensions principales des aériens sont données en longueurs d'onde et représentent seulement l'ordre de grandeur usuel des dimensions utilisées en pratique. Le tableau indique également la polarisation telle qu'elle est représentée sur la figure 3.24, la largeur du faisceau et les gains. Les flèches sur la figure donnent la direction de rayonnement maximal.

Le découplage entre les aériens de différents systèmes de télécommunications fonctionnant sur les mêmes fréquences peut être obtenu dans une certaine mesure par un choix approprié des angles de polarisation des aériens d'émission et de réception.

3.4.4 - Caractéristiques des circuits radio entre deux stations fixes

Ces caractéristiques sont rapidement résumées ici puisqu'elles ont déjà étudiées en détail dans les sections 3.4.1 et 3.4.2.

(a) Distance

La distance qui peut être couverte dépend principalement de la puissance de l'émetteur, du gain des antennes d'émission et de réception et du facteur de bruit du récepteur. La section 4 indique les chiffres usuels.

Dans la bande V.H.F., des liaisons entre deux stations fixes peuvent fonctionner même sans visibilité directe (ou presque) en raison des réflexions et des réfractions.

There are a number of basic assumptions implied in the definition of path attenuation in this way. The more important are :

- 1/ The aeriels must be considered in free space, for example, apart from the reflections from the earth. Such extraneous effects must be added to path attenuation estimates.
- 2/ The aeriels must be separated by distances large compared to their size or the wavelength of emission.
- 3/ The polarisation of the aeriels must be the same, that is, the electric field from the transmitting aerial must be oriented to produce maximum response in the receiving aerial.

The gain of a transmitting aerial is obtained basically by spreading a large number of small current elements over a large volume and arranging the phase of the currents and/or their physical positions into a pattern such that their radiation effect combines at a distant point. The receiving aerial works in the opposite way ; the radiation from the distant point excites the current elements in the same phase and space pattern, to produce maximum power at the terminals.

It follows that the gain of an aerial depends upon its physical size and the wavelength. The power-gain of an aerial is proportional to the ratio of its effective area and the square of the wavelength. Hence as frequency is increased it is possible to achieve large aerial gains with relatively small aeriels. Typical practical figures for maximum gain range from about 10 dB for H.F. systems to 50 dB for S.H.F. systems. The former aerial would require a large area of land to contain it but the latter might consist of a parabolic reflector about 10 feet (3 metres) in diameter.

The larger the directional gain of an aerial the smaller becomes the angle within which the power is concentrated. The angle containing the major part of the radiated power is called the beamwidth and it usually is defined by the angles at which the power intensity drops to a half of the peak intensity. Beamwidths range from 90 degrees for a half-wave dipole to about half a degree for a parabolic microwave aerial.

Side lobes are generated in addition to the main lobe. Their angles with the main lobe and their relative power depend upon the construction of the antenna and the ratio of size to wavelength. When planning microwave networks possible cross-talk resulting from the presence of side lobes has to be taken into account.

Table 3-8 and figure 3.24 show the properties and order of dimensions of some of the more common types of aeriels used for the H.F., V.H.F., U.H.F. and S.H.F. frequency ranges. The major dimensions of the aeriels are given in terms of wavelength and represent only the typical order of size used in practice. Also shown in the table is the polarisation as drawn in figure 3.24, the beamwidth and the gains. Arrows on the figure give the direction of maximum radiation.

De-coupling between aeriels on different transmission systems operating on the same frequencies can be achieved to a certain extent by a proper choice of the polarisation angles of the transmitting and receiving aeriels.

3.4.4 - Characteristics of Point-to-point Radio Circuits

Characteristics are briefly summarised since detailed information has already been given in Sections 3.4.1 and 3.4.2.

(a) Distance

The distance to be covered depends basically on the power of the transmitter, the antenna gain of the transmitting and receiving antennae and the noise figure of the receiver. Typical figures are given in Section 4.

In the V.H.F. band point-to-point links may operate even without (but almost) direct sight due to reflection and refraction.

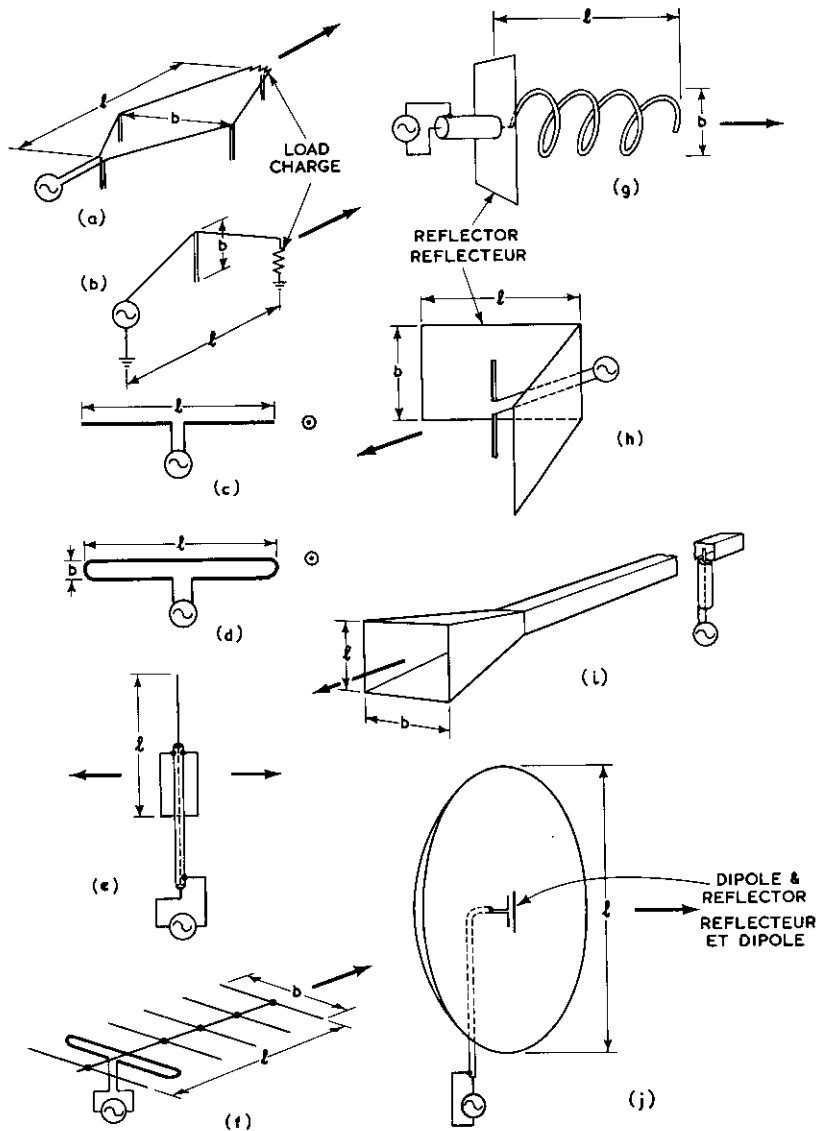


Figure 3.24 - Antennes radio

La distance de travail est d'environ 32 km en pays de plaines et elle peut être augmentée grâce à l'utilisation d'édifices ou de pylônes ou encore par une situation convenable des stations sur des collines.

Les liaisons en U.H.F. et en S.H.F. dépendent essentiellement et en toutes circonstances de la visibilité directe. La portée maximale dépend principalement du gain des aériens et du facteur de bruit du récepteur, elle est usuellement de 64 à 80 km.

Pour les liaisons en S.H.F., les effets de la réfraction dans l'atmosphère imposent souvent une limite pratique. Les distances de travail sont d'environ 64 km et elles peuvent être augmentées par la diversité d'émission (voir section 4 et tableau 4-3). La portée des liaisons en U.H.F. et en S.H.F. peut être augmentée par l'usage des stations amplificatrices intermédiaires.

(b) Temps de transmission

Le temps de transmission à toutes les fréquences est déterminé par la vitesse de propagation des ondes radio (égale à la vitesse de la lumière) et il est d'environ 0,5 ms par 160 km. La plus grande partie du retard constaté dans les cas pratiques est dû à la limitation de la largeur de bande par les filtres à l'émission et à la réception et le retard dû au trajet peut être généralement négligé.

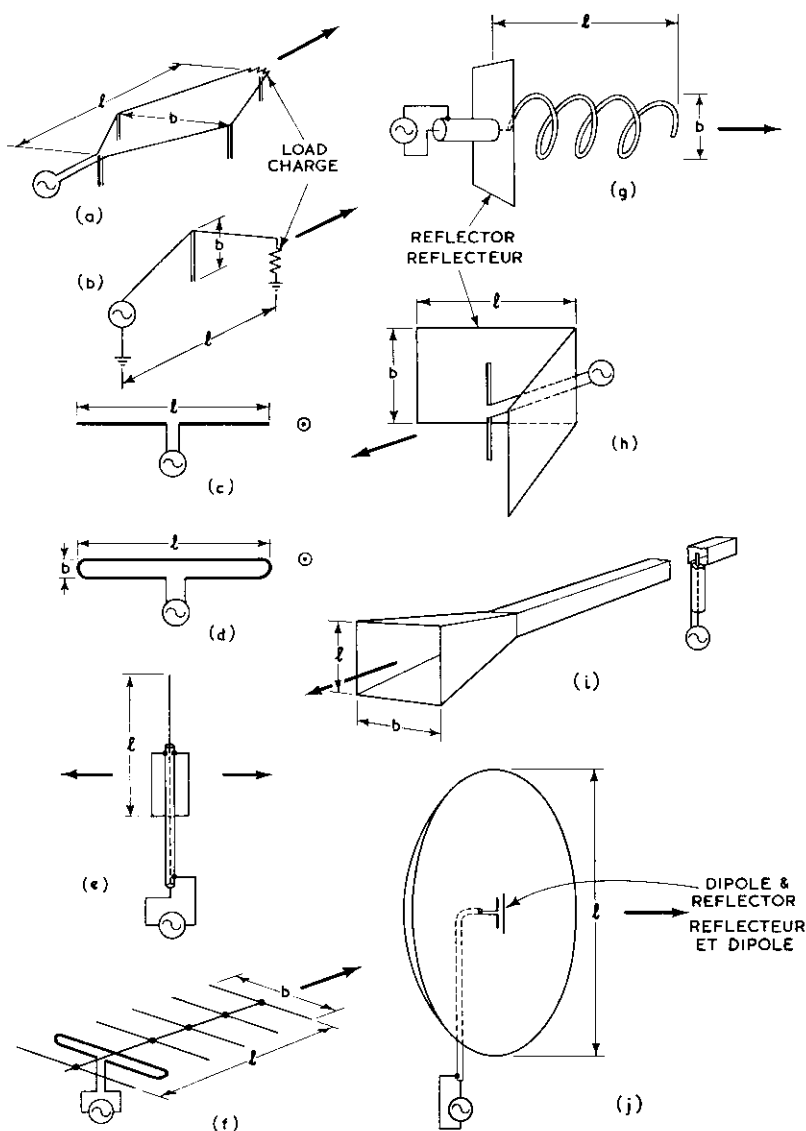


Figure 3.24 - Radio aerials

The working distance is around 32 km in flat country and may be extended by the use of buildings or towers, or by suitable location of the stations on hills.

U.H.F. and S.H.F. links depend virtually and always on direct sight. The maximum distance depends mainly on the aerial gain and noise figure of the receiver, and is typically 64 - 80 km.

For S.H.F. links refraction effects in the atmosphere often set a practical limit. Working distances are around 64 km and can be extended by diversity transmission. (See Section 4 and Table 4-3). The range of U.H.F. and S.H.F. links can be extended by the use of repeaters.

(b) Transmission Time

The transmission time at all frequencies is determined by the velocity of the radio waves (equal to the velocity of light) and is roughly 0.5 ms per 160 km. Most of the delay encountered in practical cases arises in the limitation of bandwidth by filters in the transmitting and receiving equipment and the path delay can usually be ignored.

TABLEAU N° 3-8

CARACTERISTIQUES COURANTES DES ANTENNES (VOIR EGALEMENT FIG. 3.24)

Type d'antenne	Fig	l (λ)	b (λ)	Gamme de fréquences usuelle	Polarisation	Largeur verticale du faisceau en degrés	Largeur horizontale du faisceau en degrés	Gain dB	Remarques
Losange	(a)	6-24	2-8	H. F.	Horizontale	50-20	18-8	14-19	Très large bande
V inversé	(b)	6-24	1-4	H. F.	Verticale	18-8	50-20	11-16	Constitue, avec son image dans le sol, une antenne losange
Dipôle demi-onde	(c)	0,5		Toutes gammes	Horizontale	Non-directionnelle	2 × 90	2	Largeur de bande moyenne
Dipôle replié	(d)	0,5	0,1	Toutes gammes	Horizontale	Non-directionnelle	2 × 90	2	Meilleures caractéristiques d'impédance que le dipôle ordinaire
Dipôle coaxial	(e)	0,5		VHF UHF	Verticale	90	Non-directionnelle	2	Largeur de bande moyenne
Antenne Yagi (6 éléments)	(f)	1	0,5	VHF UHF	Horizontale	50	50	10	Bande étroite
Antenne hélicoïdale	(g)	1-10	1	UHF	Circulaire	60-15	60-15	10-20	Large bande
Réflecteur dièdre et dipôle	(h)	1,5	1	UHF	Verticale	40	60	10	Largeur de bande moyenne bon rapport avant arrière
Cornet de guide d'onde	(i)	1	1	SHF	Verticale	60	70	8	Souvent utilisé pour commander le réflecteur parabolique ci-dessous
Antenne parabolique	(j)	2-100		SHF	Verticale	30-0,5	30-0,5	12-48	Peut-être rendue encore plus directionnelle mais est difficile alors à maintenir de façon rigide

(c) Largeurs de bande

Pour tous les systèmes de liaison entre deux stations fixes en V.H.F., en U.H.F. et en S.H.F., il existe des types d'équipements offrant différentes largeurs de bande utiles.

Les types les plus courants ont une largeur de bande utile de 3,5 à 4 kHz ce qui correspond à un canal téléphonique 300 - 3500 Hz ou à une "bande large" (c'est-à-dire un canal phonie de bande réduite 300 - 2400 Hz plus un ou plusieurs canaux à bande étroite pour des télémesures, des télécommandes etc... dans la bande 2500 - 3500 Hz).

Certains types spéciaux à large bande peuvent avoir des largeurs de bande utiles de 12 - 20 kHz ou plus et ils sont principalement utilisés pour la transmission de la musique, la transmission de plusieurs canaux phonie plus des canaux de signalisation, la transmission de données, etc...

Grâce à la largeur de bande, des vitesses de signalisation très élevées peuvent être atteintes.

Il faut remarquer que la largeur de bande occupée, dans le spectre des fréquences radio, est généralement plus grande que la largeur de bande utile et elle dépend de la méthode de modulation (= 2 fois la largeur de bande utile pour la modulation d'amplitude avec les deux bandes transmises, 2 fois la largeur de bande utile pour la modulation de fréquence).

L'utilisation d'un équipement à large bande est généralement soumise à une autorisation spéciale de l'administration des P.T.T. Dans le cas des systèmes S.H.F., des canaux de largeurs de bande de plusieurs MHz sont courants.

3.4.5 - Perturbations et bruit

Les perturbations et le bruit varient avec la fréquence ; les perturbations d'origine humaine, c'est-à-dire l'allumage des moteurs et le bruit de ligne s'étendent jusqu'à 1000 MHz environ.

Suivant la position géographique et le gain de l'antenne, les liaisons entre deux stations fixes en V.H.F. et quelquefois en U.H.F. sont affectées par ces perturbations. (L'effet d'une diaphonie aléatoire est traité dans la section 3.4.6 ci-dessous).

Le niveau de bruit pour un système S.H.F. est le bruit thermique de base engendré dans les circuits d'entrée. Les interférences avec d'autres liaisons sont pratiquement inconnues dans la bande S.H.F. pour des installations fixes (à l'exception des équipements radar mobiles de recherche ou de l'émission perturbatrice d'un lobe latéral par un système rayonnant voisin).

TABLE NO. 3-8

TYPICAL AERIAL CHARACTERISTICS (See also figure 3.24)

Name of Aerial	Fig. Ref.	l (λ)	b (λ)	Usual Frequency Range	Polarisation	Vertical Beamwidth Degrees	Horizontal Beamwidth Degrees	Gain dB	Remarks
Rhombic	(a)	6-24	2-8	H. F.	Horizontal	50-20	18-8	14-19	Very wide bandwidth
Inverted Vee	(b)	6-24	1-4	H. F.	Vertical	18-8	50-20	11-16	Together with its reflection in earth is a rhombic aerial
Half-wave dipole	(c)	0.5		All frequency ranges	Horizontal	Non-directional	2 × 90	2	Medium bandwidth
Folded dipole	(d)	0.5	0.1	All frequency ranges	Horizontal	Non-directional	2 × 90	2	Better impedance characteristics than ordinary dipole
Coaxial dipole	(e)	0.5		V. H. F. U. H. F.	Vertical	90	Non-directional	2	Medium bandwidth
Yagi aerial (6 element)	(f)	1	0.5	V. H. F. U. H. F.	Horizontal	50	50	10	Narrow bandwidth
Helical aerial	(g)	1-10	1	U. H. F.	Circular	60-15	60-15	10-20	Wide bandwidth
Corner reflector and dipole	(h)	1.5	1	U. H. F.	Vertical	40	60	10	Medium bandwidth - good back to front ratio
Waveguide Horn	(i)	1	1	S. H. F.	Vertical	60	70	8	Often used to energise paraboloidal reflector below
Paraboloidal Aerial (Dish)	(j)	2-100		S. H. F.	Vertical	30-0.5	30-0.5	12-48	Can be made more directional but is then difficult to hold with enough rigidity.

(c) Bandwidths

For all point-to-point systems in the V. H. F., U. H. F. and S. H. F. band types of equipment exist providing different usable bandwidths.

The most common types have a usable bandwidth of 3.5 - 4 kHz which corresponds to a speech channel 300 - 3500 Hz or a "voice plus" channel (i.e. a speech channel of reduced bandwidth 300 - 2400 Hz plus one or some narrow band channels for telemetering, remote control etc. in the range of 2500 - 3500 Hz).

Special broadband types may have usable bandwidths of 12 - 20 kHz and more, and are mainly used for music transmission, transmission of several speech channels plus signalling channels, data transmission, etc.

Owing to the bandwidth, very high signalling speeds are attainable.

It has to be noted, that the bandwidth covered in the radio frequency spectrum is usually more than the usable bandwidth and depends on the modulation method. (= 2 x usable bandwidth for DSB, 2 x usable bandwidth for FM).

The use of broadband equipment is generally subject to special permission by PTT authorities. In the case of S. H. F. systems information channel bandwidths of several MHz are common.

3.4.5 - Interference and Noise

Interference and noise varies with frequency, man-made interference, i.e. ignition and power line noise extends up to about 1000 MHz.

Depending on the local situation and the antenna gain, V. H. F. and sometimes U. H. F. point-to-point channels may be affected by this interference. (The effect of sporadic cross-talk are dealt with in 3.4.6 below).

The noise level in an S. H. F. system is the fundamental thermal noise generated in the input circuits. Interference with other circuits in the S. H. F. range is practically unknown for fixed installations, (excepting mobile search-type radar equipment and unwanted side lobe radiation from nearby antenna systems).

Les fréquences les plus élevées sont donc fondamentalement moins bruyantes que les fréquences plus basses. Il faut ajouter à cette propriété la protection supplémentaire contre le bruit et les perturbations apportée par les aériens directionnels travaillant aux fréquences élevées.

3.4.6 - Sécurité de fonctionnement

"La sécurité de fonctionnement" a ici pour critère essentiel la continuité de la liaison d'un système entre deux stations fixes par opposition à la sécurité de fonctionnement considérée comme la non-défaillance due à la sécurité de fonctionnement ou à la durée de vie des composants.

Les variations dans la propagation dépendent de facteurs différents et indépendants dont les effets sont plus ou moins prononcés suivant les différentes gammes de fréquences.

Dans la bande V.H.F., les réflexions aléatoires sur les couches de l'ionosphère peuvent donner naissance à une diaphonie importante et subite en provenance de systèmes V.H.F. éloignés fonctionnant sur la même fréquence, surtout entre 30 et 80 MHz.

La bande U.H.F. n'est pas sujette à de tels effets, mais des variations dans la propagation peuvent se produire à cause de trajets légèrement différents, en particulier au-dessus de l'eau ou lorsqu'il y a des réflexions sur des objets.

Pour la bande S.H.F., cet effet peut même être plus prononcé encore. En outre, des déviations dans le trajet de transmission en visibilité quasi directe, dues à des effets de diffraction dans l'air (couches de températures différentes), sont relativement fréquentes en S.H.F. et en U.H.F. et encore plus en U.H.F. qu'en V.H.F. Pour les systèmes S.H.F., il est prudent d'admettre un affaiblissement de 20 dB ou plus pendant 1 % du temps et la plupart des systèmes S.H.F. sont conçus avec une marge d'affaiblissement de 30 dB au moins.

La propagation des fréquences supérieures à 12 GHz est sujette à des augmentations d'affaiblissement dues à la pluie et au brouillard.

La sécurité de fonctionnement dans l'utilisation du trajet de propagation est améliorée, en particulier pour les systèmes S.H.F., par l'emploi de systèmes "à diversité" dans lesquels on utilise différentes fréquences ou dans lesquels une fréquence commune est employée sur des trajets légèrement différents ("diversité de fréquence" et "diversité d'espace"). Dans ce cas, il faut prendre des précautions spéciales afin d'éviter le non-fonctionnement ou le fonctionnement intempestif pendant le temps de commutation. Des transitoires dus à la commutation des oscillateurs de bande ou de groupe peuvent également provoquer des phénomènes semblables.

Enfin il faut se rappeler que la sécurité de fonctionnement est affectée par le bruit et les perturbations. Dans ce domaine, les bandes de fréquences les plus élevées sont les meilleures.

Il est difficile d'être explicite quant à la sécurité de fonctionnement de l'équipement lui-même car il est toujours possible d'avoir un système sûr pour autant que l'on soit disposé à le payer.

Avec la naissance des équipements en ondes centimétriques à semi-conducteurs, on va de plus en plus mettre l'accent sur l'utilisation des bandes S.H.F.

L'étude du projet d'un système de liaisons radio nécessite d'envisager tout spécialement la topographie du terrain, et elle peut être considérée comme un travail de spécialiste mettant en jeu une connaissance profonde de la propagation aux fréquences proposées. Le prix de revient de n'importe quel système est étroitement lié à l'étude du projet, ceci à cause des variations dans la taille et le coût des antennes de différents gains suivant les différentes bandes de fréquences. Des propositions récentes tendant à l'installation de répéteurs de voies radio S.H.F. sur les pylônes des lignes d'énergie, sont particulièrement intéressantes, du point de vue des systèmes de protection, en ce que les difficultés concernant la construction de stations radio distinctes, difficultés rencontrées dans de nombreux pays, pourraient être ainsi réduites.

The highest frequencies are therefore fundamentally less noisy than lower frequencies. To this property must be added the additional protection against noise and interference afforded by directional aerials working at the higher frequencies.

3.4.6 - Reliability

"Reliability" here refers mainly to the constancy of propagation of a fixed point-to-point system as opposed to reliability or non-failure due to component reliability or life.

Propagation variations depend on different and independent effects which are more pronounced for the different frequency ranges.

In the V.H.F. band sporadic reflections in the ionosphere may give rise to sudden and strong cross-talk from remote V.H.F. systems operating on the same frequency, especially between 30 - 80 MHz.

The U.H.F. band is free from such effects, but propagation variations may occur due to slightly different paths, particularly over water and when reflections from other objects are present.

For the S.H.F. band this effect may be even more pronounced. In addition, deviations in the quasi-optical transmission path due to diffraction effects in the air (layers of different temperature) are relatively frequent with S.H.F. and U.H.F. and more so at U.H.F. than at V.H.F. In S.H.F. systems it is wise to allow fading of 20 dB or more for 1 % of the time and most S.H.F. systems are designed with a fading margin of at least 30 dB.

Frequencies higher than 12 GHz are subject to increasing attenuation by rain and fog.

Reliability of the use of the propagation path is improved especially for S.H.F. systems by employing "diversity" systems in which different frequencies are used or in which a common frequency is used over slightly different paths ("frequency diversity" and "space diversity"). In such cases, special precautions have to be taken in order to avoid non-operation or unwanted operation during the switching period. Transients caused by baseband and group oscillator switching can also produce similar phenomena.

Finally, one must remember that reliability is affected by noise and interference. In this instance, the higher frequency bands are better.

It is difficult to be explicit about reliability of the equipment itself because one can always have as reliable a system as one is prepared to pay for.

In the emergence of all solid state microwave equipment, use of the S.H.F. bands will be greatly emphasised.

The system planning aspects of radio links necessitate special consideration of the topography of the terrain and can be considered as a specialist task involving a detailed knowledge of propagation at the frequencies proposed. The economics of any system are closely related at the planning stage, because of the dependence in size and cost of antennae of various gains in the different frequency bands. Recent proposals to mount S.H.F. radio repeaters on high voltage transmission line towers are of especial interest in relation to protection systems in that the planning difficulties affecting the erection of separate radio stations found in many countries could thereby be minimised.

3.4.7 - Règlements limitatifs

On a admis implicitement dans ce qui précède que les propriétés générales des systèmes radio décrits ne sont pas les seuls facteurs affectant leur emploi pratique. Le matériel radio est généralement soumis à une autorisation, sous condition que le matériel soit réalisé, et exploité par l'usager selon les spécifications du gouvernement ou des P.T.T. De plus, ceci tend à spécialiser l'utilisation de fréquences radio déterminées dans des emplois qui conviennent à leur propriétés. En ce qui concerne l'utilisation des parties V.H.F., U.H.F. et S.H.F. du spectre, on peut dire que la partie V.H.F. du spectre est encombrée et qu'il est difficile d'obtenir des allocations supplémentaires de fréquences.

La partie U.H.F. du spectre commence seulement à être exploitée et les chances d'obtenir des allocations de fréquences sont généralement bonnes, bien que la situation varie d'un pays à l'autre en ce qui concerne et les allocations, et les largeurs de bande. L'industrie des réseaux électriques peut être considérée comme un pionnier dans cette bande et elle s'est déjà vue attribuer plusieurs fréquences à des fins de commande de systèmes V.H.F. ou de télémessures.

Dans de nombreux pays, les règlements des P.T.T. concernant la bande S.H.F. ne sont pas encore formulés et dans ce cas, les usagers de l'industrie électrique peuvent souvent contribuer à l'établissement de règles satisfaisantes, capables de convenir aux exigences spéciales de la pratique des télécommunications associées à un réseau de transport d'énergie. De toutes façons, il est certain que dans l'établissement de ces règlements, les autorités seront guidées non seulement par les constructeurs de matériel radio mais encore par l'expérience des usagers, et par conséquent le travail de pionnier est, de plus d'une façon, un investissement pour l'avenir.

3.4.7 - Restricting Regulations

It has been implied in what has been written so far that the general properties of the radio systems considered are not the only factors affecting the practical performance. Radio equipment is usually licensed, subject to the equipment meeting and being maintained by the user, to Government or PTT specifications. Furthermore, this tends to confine the use of specific radio frequencies to roles which suit their properties. Regarding the use of the V.H.F., U.H.F. and S.H.F. portions of the spectrum, it may be said that the V.H.F. part of the spectrum is crowded and that it is difficult to obtain additional frequency allocations.

The U.H.F. part of the spectrum is only just beginning to be exploited and the chances of getting frequency allocations are generally good although the situation varies from country to country both as regards allocations and bandwidths. The electrical power supply industry is a pioneer in this particular band and has already acquired several frequencies for use in controlling V.H.F. systems and for telemetering purposes.

In most countries, the PTT regulations concerning the S.H.F. band are not yet formulated and in these cases users in the power industry can often contribute to the establishment of satisfactory standards able to accommodate the special requirements of power network telecommunication practice. However, it is certain that in framing these regulations, the authorities will be guided not only by manufacturers of radio equipment, but also by the experience of users, hence pioneering work is, in more than one way, an investment of the future.

4. – POSSIBILITÉS PRATIQUES DES VOIES DE TRANSMISSION

Cette section résume les propriétés pratiques usuelles des voies de transmission en fonction des distances couvertes et des temps de transmission.

4.1 - DISTANCES USUELLEMENT COUVERTES

Des chiffres expérimentaux, donnant les distances usuelles sur lesquelles sont utilisés les différents systèmes, sont indiqués pour les différents types de voies de transmission. Les tableaux 4-1, 4-2 et 4-3 ont respectivement rapport aux câbles et aux fils pilotes, aux courants porteurs sur les lignes d'énergie et aux systèmes radio. Les chiffres indiqués sont basés sur des essais réels.

TABLEAU N° 4-1

VALEURS CLASSIQUES DES DISTANCES MOYENNES QUI PEUVENT ETRE COUVERTES DANS DIFFERENTS PAYS PAR LES SYSTEMES A FIL PILOTE OU A CABLE PILOTE

	Lignes aériennes km	Câbles aériens de télécommunications sur supports séparés km	Câbles de télécommunications dans le câble de garde km	Câbles souterrains de télécommunications	
				propriété de l'exploitant km	loués aux P. T. T. km
Courant continu	10	8		16	16
Fréquence du réseau	50	30	15	30	30
Fréquence musicale					
- modulation d'amplitude par tout ou rien	24	16		16	
- déplacement de fréquence	40	32		30	20
Courant porteurs (type téléphonique)	50	32	80	50	

4. – CAPABILITIES OF PRACTICAL CHANNELS

This section summarises the typical properties of practical channels in relation to distances covered and propagation times.

4.1 - DISTANCES TYPICALLY COVERED

Tentative figures showing typical distances over which systems are employed are given for the different types of channel. Tables 4-1, 4-2 and 4-3 refer to pilot wire and cable, power line carrier and radio systems respectively. The figures given are based on actual experience.

TABLE No. 4-1

GUIDING VALUES OF AVERAGE COVERABLE DISTANCES FROM
DIFFERENT COUNTRIES OF PILOT WIRE AND PILOT CABLE SYSTEMS

	Overhead Open Wire km	Overhead signalling cables on separate poles km	Earth wire signalling cables km	Underground signalling cables	
				Utility owned km	PTT rented km
Direct current signalling	10	8		16	16
Power frequency	50	30	15	30	30
Audio frequency					
- amplitude mod. (on - off)	24	16		16	
- frequency shift	40	32		30	20
Carrier current (telephone type)	50	32	80	50	

TABLEAU N° 4-2

VALEURS CLASSIQUES DES DISTANCES MOYENNES QUI PEUVENT ETRE COUVERTES
PAR LES SYSTEMES A COURANTS PORTEURS SUR LES LIGNES D'ENERGIE
(SANS AMPLIFICATEURS INTERMEDIAIRES).

Voies de transmission par courants porteurs sur les lignes d'énergie	Tension infé- rieure à 100 kV (1) km	100 - 150 kV (1) km	220 kV (1) km	380 kV (1) km
Porteuse à déplacement de fréquence :				
1 watt	80	80	80	-
10 - 20 watts	160	240	240	240
100 watts	-	-	320	320
Canal à fréquence musicale modulant :				
une porteuse BLU A 9 a et A 9 b (2) (4) :				
2 - 4 watts	50	80	80	-
10 - 20 watts	160	240	320	240
100 watts	-	-	320	320
Porteuse et 2 bandes latérales A 9 (3) (4) :				
10 - 20 watts	-	130	160	160

(1) Couplage inter phases

(2) Puissance d'une bande latérale

(3) Puissance de la porteuse

(4) Taux de modulation de 20 à 30 % par canal à fréquence musicale, les valeurs dépendant de la fréquence de la porteuse et du niveau de bruit dû à l'effet couronne.

(5) Pour l'explication du sigle "A 9", voir glossaire section 8.2 (classification des transmissions").

TABLEAU N° 4-3

VALEURS CLASSIQUES DES DISTANCES MOYENNES QUI PEUVENT ETRE COUVERTES PAR
DES LIAISONS RADIO "EN UNE SEULE PORTEE" (DES DISTANCES PLUS IMPORTANTES
PEUVENT ETRE COUVERTES EN UTILISANT DES AMPLIFICATEURS INTERMEDIAIRES).

Liaisons radio entre deux stations fixes	Fréquence MHz	En visibilité indi- recte, quasi optique km	En visibilité directe, optique km
Systèmes V. H. F. (1)	30 - 300	15 - 20	30 - 50
Systèmes U. H. F. (2)	300 - 3000	10	20 - 40
Systèmes S. H. F. (3)	supérieure à 3000	-	40 - 60

(1) Puissance de l'émetteur : 20 watts, gain de chacune des antennes d'émission et de réception : 2 - 12 dB

(2) Puissance de l'émetteur : 5 watts, gain de chacune des antennes d'émission et de réception : 10 - 24 dB

(3) Puissance de l'émetteur : 100 mW, gain de chacune des antennes d'émission et de réception : 12 - 48 dB.

TABLE NO. 4-2

GUIDING VALUES OF AVERAGE COVERABLE DISTANCES OF POWER LINE
CARRIER SYSTEMS (WITHOUT INTERMEDIATE REPEATERS)

Power Line Carrier Current Channels	Below 100 kV (1) km	100 - 150 kV (1) km	220 kV (1) km	380 kV (1) km
Carrier frequency shift :				
1 watt	80	80	80	-
10 - 20 watt	160	240	240	240
100 watt	-	-	320	320
Audio frequency channel modulated on :				
S.S.B. carrier A9a and A9b (2) (4) :				
2 - 4 watt	50	80	80	-
10 - 20 watt	160	240	320	240
100 watt	-	-	320	320
D.S.B. carrier A9 (3) (4) :				
10 - 20 watt	-	130	160	160

- (1) Phase - phase coupling
(2) Power of sideband
(3) Power of carrier
(4) Modulation depth 20 % - 30 % per audio frequency channel, values depending on carrier frequency and noise level due to corona
(5) For explanation of "A9" see Glossary 8.2 "Classification of Transmissions"

TABLE NO. 4-3

GUIDING VALUES OF AVERAGE COVERABLE DISTANCES FOR RADIO LINKS OF
"ONE-HOP" LENGTH (LONGER DISTANCES CAN BE COVERED BY
USE OF REPEATERS)

Point-to-point Radio Links	Frequency MHz	Indirect sight, quasi optical km	Direct sight, optical km
V.H.F. systems (1)	30 - 300	15 - 20	30 - 50
U.H.F. systems (2)	300 - 3000	10	20 - 40
S. H. F. systems (3)	above 3000	-	40 - 60

- (1) Transmitter power 20 watts, gain of transmitter and receiver antenna each 2 - 12 dB
(2) Transmitter power 5 watts, gain of transmitter and receiver antenna each 10 - 24 dB
(3) Transmitter power 100 mW, gain of transmitter and receiver antenna each 12 - 48 dB

4.2 - TEMPS DE TRANSMISSION PRATIQUES DES VOIES DE TRANSMISSION

Le temps de transmission peut être considéré comme étant la somme du temps de propagation dû au trajet et du temps de propagation à travers les équipements émetteur et récepteur. Ce dernier temps dépend essentiellement des caractéristiques des filtres, c'est-à-dire la largeur de bande et la pente des flancs des filtres.

Le tableau 4-4 indique les temps de transmission usuels pour différents types de circuits et différentes largeurs de bande. On a choisi une distance standard de 100 km. Les temps de transmission pour d'autres distances peuvent être déduits de ce tableau.

Les vitesses de transmission nécessaires dépendent principalement de la philosophie de la conception du réseau, des conditions dans lesquelles il se trouve au moment du défaut, et du genre et de la position de ce défaut. Pour les systèmes de transmission sur les lignes aux tensions les plus élevées, il est extrêmement important de réduire la durée totale du défaut à sa valeur minimale compatible avec un fonctionnement sûr de la boucle de commande, c'est-à-dire la combinaison disjoncteur/téléprotection. Le temps de transmission du circuit de télécommunications peut être un facteur important du temps global d'élimination du défaut. Pour les réseaux modernes, le temps global permis (ou accepté) d'élimination d'un défaut est imposé dans une large mesure par des considérations sur l'aptitude du réseau à supporter la durée du défaut ou à revenir à son état normal après la durée du défaut, sans encourir d'instabilité. A cet égard, le type de défaut le plus nuisible est le défaut triphasé, et l'emplacement le plus défavorable est à proximité d'un jeu de barres. Pour des raisons financières, les réseaux modernes tendent à être exploités au plus près des limites de stabilité statique, et ceci, ajouté à l'utilisation de groupes de puissance unitaire plus grande, conduit à l'augmentation des exigences pour des durées de défaut de plus en plus brèves. Du fait que l'information qui doit être mesurée et estimée dans les techniques de protection est un phénomène à la fréquence du réseau, il existe des limitations de base à la réduction des temps de fonctionnement des protections. Il existe des limitations de base semblables en raison du mode de fonctionnement des disjoncteurs. A cet égard, l'obtention de durées brèves de défauts exige une dépense minimale de temps aux stades intermédiaires (par exemple les relais intermédiaires, les bobines de déclenchement et dans certains cas la liaison de téléinformation).

Dans les conditions les plus sévères, la durée admissible d'un défaut peut être de l'ordre de 120 ms ou moins. Le temps de fonctionnement usuel d'un disjoncteur du réseau peut être de l'ordre de 60 ms. Le temps de fonctionnement d'un équipement de protection dans ces conditions peut être de 40 ms ou moins. Selon la façon dont le circuit de télécommunications est utilisé par rapport au système de protection, le temps de transmission du circuit de télécommunications (y compris tous les éléments associés à savoir la liaison, les filtres, le codage et le décodage, les relais émission et réception) doit, sur cette base, être de l'ordre de 20 ms. Il en est ainsi dans l'hypothèse suivante : la réception d'un signal à travers un circuit de télécommunications est nécessaire pour le déclenchement du disjoncteur proche du défaut triphasé, par exemple pour un déclenchement conditionnel avec dépassement. Il n'en serait pas de même dans le cas d'une accélération de stade parce que le disjoncteur proche du défaut pourra l'éliminer indépendamment du circuit de télécommunications dont le retard n'interviendra que pour le déclenchement du disjoncteur éloigné du défaut. Ce retard supplémentaire est admissible parce que le courant de défaut sera bien moindre et ses effets sur le réseau corrélativement moins importants. Cet argument tend bien entendu à ne plus être valable si la ligne protégée est courte, ce qui n'est pas rare dans certains réseaux modernes. Tout cela montre que le temps de transmission d'un circuit de télécommunications, en fonction de ces conditions sévères, doit être jugé sur la base de l'usage que l'on en fait et des caractéristiques propres à chaque application particulière.

D'une façon générale, les liaisons radio peuvent être rendues assez rapides pour ne pas poser de problème pour fournir les vitesses de transmission globales nécessaires. Les systèmes à courants porteurs sur les lignes d'énergie sont généralement suffisamment rapides en eux-mêmes pour les longueurs normales de lignes qu'ils couvrent, à savoir jusqu'à 150 km, pourvu que des retards excessifs n'interviennent pas dans le codage, les filtres, etc... Il existe une certaine incertitude en ce qui concerne les fils pilotes et il en est ainsi en particulier parce qu'ils sont souvent utilisés pour les lignes les plus courtes, de l'ordre de 15 km, pour lesquelles les conditions sévères du défaut sont ressenties aux deux extrémités de la ligne. Il faut remarquer également que dans le cas d'un système à verrouillage, souvent utilisé pour les lignes les plus courtes, le temps de déclenchement de la protection locale doit être tel qu'il permette un retard pour la réception d'un signal par l'intermédiaire de la voie de transmission.

4.2 - PRACTICAL CHANNEL PROPAGATION TIMES

Transmission time can be sub-divided into the transmission time of the path itself and the transmission time through the transmitting and receiving equipment. The latter again depends mainly on the filter characteristics, i.e. bandwidth and filter slope.

Table 4-4 gives typical propagation times for various types of circuit and for different bandwidths. 100 km is chosen as a standard distance. Propagation times for different lengths of link can be derived from this table.

The signalling speeds required depend basically on the design philosophy of the power system, the conditions on the power system at the time of fault, and the type and position of the fault itself. On higher voltage transmission systems it is increasingly important to reduce the total duration of the fault to the minimum value consistent with reliable performance of the control loop, i.e. the circuit-breaker/teleprotection combination. The transmission time of the telecommunication circuit may be an important factor in this overall clearance time. On modern power transmission systems the permissible (or acceptable) overall clearance time is dictated largely by considerations of the ability of the power system to withstand or recover from the duration of the fault, without incurring instability. In this respect, the worst type of fault is a three phase fault, and the worst position is close to the busbars. For economic reasons, modern power transmission systems tend to be operated nearer to steady state stability limits and this, together with the use of larger generator units leads to increasing requirements for shorter times of fault duration. Due to the fact that the information being measured and/or assessed in the protection technique is a power frequency phenomenon, there are fundamental limitations to the reduction of protection operating times. Due to the method of operation of circuit-breakers similar fundamental limitations apply. In this respect the achievement of short fault durations requires the minimum expenditure of time in intermediate stages (e.g. repeat relays, trip coils and in some cases the telecommunication information link).

Under the worst conditions, the permissible fault duration could be of the order of 120 ms or less. The typical operating time of a circuit-breaker for such a system may be of the order of 60 ms. The operating time of the protection equipment under such conditions might be 40 ms or less. Depending upon how the telecommunication circuit is used in relation to the protection system, the transmission time of the telecommunication circuit (including all associated equipment, e.g. transmission circuit, filters, coding and de-coding, send and receive relays) should, on this basis, be of the order of 20 ms. This is on the assumption that reception of a signal over a telecommunication circuit is necessary for the tripping of the circuit-breaker close to the three phase fault, e.g. permissive overreaching. This would not be so in the case of an acceleration system because the circuit-breaker could clear the close up fault independent of the telecommunication circuit the delay of which would only be incurred in the tripping of the breaker remote from the fault. Such additional delay is permissible because the level of the fault would be much less and its effect on the system correspondingly lower. This argument of course, tends to disappear as the protected circuit becomes shorter which, of course, is a possibility on some modern power systems. These points show that the transmission time of the telecommunication circuit in relation to these severe conditions must be judged on the basis of the way in which the telecommunication circuit is used and the individual characteristics of the particular application.

Generally speaking, radio links may be made so fast as not to be a problem in providing the necessary overall transmission speeds. Power line carrier systems are generally fast enough in themselves within the normal lengths covered, e.g. up to 150 km, provided excessive delays in coding and filters etc., are not incurred. There are some regions of doubt in relation to pilot wires and this is particularly so because they are often used for the shorter lengths of line, e.g. 15 km, in which the severity of the fault condition is seen from both ends. Note also, that in the case of a blocking system, often used for these shorter lengths of line, the tripping time of the local relays must be such as to allow a time delay for the reception of a signal over the telecommunication channel.

TABLEAU N° 4-4

RETARDS APPORTES PAR LA LIAISON, L'EQUIPEMENT ET L'ENSEMBLE DE LA VOIE DE TRANSMISSION POUR DES CIRCUITS TELEGRAPHIQUES FONCTIONNANT EN F.M. DE LONGUEUR 100 KM

Type de la liaison	Retard apporté par la liaison (ms par 100 km) (*)	Retards apportés par l'équipement et l'ensemble de la voie de transmission en ms par 100 km en fonction des vitesses de transmission télégraphiques								
		50 bauds		100 bauds		200 bauds		600 bauds		
		Equipe-ment	Ensem-ble	Equipe-ment	Ensem-ble	Equipe-ment	Ensem-ble	Equipe-ment	Ensem-ble	
Paire de fils nus ø 25 mm non pupinisés	0,365	25	25,36	18	18,36	14	14,36	4	4,36	à 1 kHz
Câble téléphonique ø 0,9 mm non pupinisé (réel)	1,33	↓	26,33	↓	19,33	↓	15,33	↓	5,33	à 1 kHz
Câble téléphonique ø 0,9mm pupinisé 88 mH/1830 m (réel)	4,27	↓	29,27	↓	22,27	↓	18,27	↓	8,27	à 1 kHz
Câble téléphonique ø 0,9 mm pupinisé 172 mH/1830 m (réel)	6,05	↓	31,05	↓	24,05	↓	20,05	↓	10,05	à 1 kHz
Porteuse sur paire de fils nus	0,34	↓	27,34	↓	20,34	↓	16,34	↓	6,34	à 20 kHz
Porteuse sur câble téléphonique	0,48	↓	27,48	↓	20,48	↓	16,48	↓	6,48	à 50 kHz
Porteuse sur liaison radio	0,33	↓	27,33	↓	20,33	↓	16,33	↓	6,33	voie surimposée
Porteuse sur ligne d'énergie	0,33	↓	27,33	↓	20,33	↓	16,33	↓	6,33	porteuse avec
									4,33	voies télégraphiques

* Ces chiffres sont basés sur la vitesse de propagation de groupe de la liaison à la fréquence indiquée

Retards usuels apportés par un équipement à porteuse directement modulée en fréquence

Type d'équipement	Retard †
Type C. C. I. T. T. 4 kHz	2 ms
Type C. P. L. (1) 4 kHz	2 ms

† d'une extrémité à l'autre
(1) courants porteurs sur les lignes d'énergie

Retards usuels apportés par un équipement télégraphique

Vitesse de propagation	Espacement des voies	Retard dû aux filtres (E + R)	Retard dû à la détection	Retard dû à l'ensemble de l'équipement †
50 Bd	120 Hz	19 ms	6 ms	25 ms
100 Bd	240 Hz	13,5 ms	4,5 ms	18 ms
200 Bd	360 Hz	10,5 ms	3,5 ms	14 ms
600 B	1200 Hz	3 ms	1 ms	4 ms

4.3 - LARGEUR DE BANDE ET VITESSE DE TRANSMISSION DES CANAUX

Il est nécessaire d'indiquer brièvement la relation qui lie le temps de transmission, la largeur de bande et la vitesse de signalisation. Le nombre de bits qui peuvent être transmis par seconde sur un canal de largeur de bande donnée est usuellement de 0,3 à 0,5 fois la largeur de bande en hertz.

L'unité de vitesse de signalisation est le baud qui est défini comme étant l'inverse de la plus petite durée de signal exprimée en secondes. La plupart des systèmes utilisent une transmission binaire, si bien qu'un bit d'information est transmis dans la période la plus courte. Par conséquent, une vitesse de signalisation de 1 baud permet normalement la transmission d'un bit par seconde.

Le tableau 4-5 donne les valeurs usuelles en bauds pour différents types de canaux.

TABLEAU N° 4-5

Canal	Bande utilisée Hz	Largeur de bande Hz	Vitesse de signalisation bauds	Type de liaison		
				Fil câble ou courants porteurs	coaxial	Radio
Télégraphique	900 - 2000	120	50	x	x	x
Phonie (en fréquence musicale)	900 - 2000	1100	600 - 800	x	x	x
Phonie (en fréquence musicale)	300 - 3400	3100	750 - 2000	x	x	x
Groupe de porteuses	12 - 60 k	48 k	16 k		x	x
Canal vidéo	60 - 3000 k	3000 k	1000 k			x

TABLE NO. 4.4

PATH DELAY, EQUIPMENT DELAY AND TOTAL CHANNEL DELAY FOR FM TELEGRAPH CIRCUITS OF 100 KM LENGTH

Type of path	Path Delay (ms per 100 km)	Equipment and total channel delay in ms per 100 km in function of telegraph speed								
		50 Baud		100 Baud		200 Baud		600 Baud		
		Eqpt	Total	Eqpt	Total	Eqpt	Total	Eqpt	Total	
Open wire pair 2.5 mm ϕ unloaded	0.365	25	25.36	18	18.36	14	14.36	4	4.36	at 1 kHz
Telephone cable 0.9 mm ϕ unloaded (side cct.)	1.33		26.33		19.33		15.33		5.33	at 1 kHz
Telephone cable 0.9 mm ϕ loaded 88 mH/1830 m (side)	4.27		29.27		22.27		18.27		8.27	at 1 kHz
Telephone cable 0.9 mm ϕ loaded 172 mH/1830 m (side)	6.05		31.05		24.05		20.05		10.05	at 1 kHz
Carrier over open wire pair	0.34		27.34		20.34		16.34		6.34	at 20 kHz
Carrier over telephone cable	0.48		27.48		20.48		16.48		6.48	at 50 kHz
Carrier over radio link	0.33		27.33		20.33		16.33		6.33	
Carrier over power line	0.33		27.33		20.33		16.33		6.33	superimposed channel
									4.33	carrier telegraph channel

* These figures are based on the group velocity of the path at the specified frequency

Typical FDM Carrier Equipment Delay Times

Type of equipment	Delay Time μ
4 kHz C.C.I.T.T. type	2 ms
4 kHz P.L.C. type	2 ms

μ terminal-terminal

Typical Telegraph Equipment Delay Times

Speed	Channel Spacing	Filter Delay (Tx + Rx)	Detector Delay	Total Eqpt. Delay μ
50 Bd	120 Hz	19 ms	6 ms	25 ms
100 Bd	240 Hz	13.5 ms	4.5 ms	18 ms
200 Bd	360 Hz	10.5 ms	3.5 ms	14 ms
600 Bd	1200 Hz	3 ms	1 ms	4 ms

4.3 - BANDWIDTH AND CHANNEL SPEED

It is necessary to mention briefly the inter-relation between transmission time, bandwidth and signalling speed. The number of bits/second which can be transmitted in a channel of given bandwidth is typically 0.3 - 0.5 times the bandwidth expressed in Hz.

The unit of signalling speed is the Baud which is defined as the reciprocal of the shortest signalling period measured in seconds. The majority of systems use a binary transmission so that one bit of information is transmitted in the shortest period. Hence a signalling speed of 1 baud normally permits the transmission of 1 bit/second.

Table 4-5 gives typical values in bauds for various types of channel.

TABLE NO. 4-5

Channel	Baseband Hz	Bandwidth Hz	Speed Baud	Path		
				Wire cable or P. L. C.	Coaxial	Radio
Telegraph	900 - 2000	120	50	x	x	x
Speech (audio)	900 - 2000	1100	600 - 800	x	x	x
Speech (audio)	300 - 3400	3100	750 - 2000	x	x	x
Carrier group	12 - 60 k	48 k	16 k		x	x
Video channel	60 - 3000 k	3000 k	1000 k			x

Un signal de déclenchement ou de verrouillage est un signal binaire contenant un seul bit et il nécessite une largeur de bande minimale pour une vitesse donnée.

Le codage implique la transformation d'une information à un seul bit en un groupe comprenant plusieurs bits (appelé un mot binaire).

Si on suppose que la même vitesse est exigée, il faut considérer les trois facteurs essentiels suivants :

- (a) Le codage et le décodage (y compris le contrôle de code) ne doivent pas apporter de retard supplémentaire appréciable et par conséquent la transmission doit avoir lieu à vitesse élevée (de l'ordre de 500 à 1000 bits/seconde).
- (b) La largeur de bande du canal doit être corrélativement augmentée, de l'ordre de 3 à 5 fois.
- (c) Le bruit présent sur la voie à l'entrée du récepteur est presque multiplié par le même facteur (dans le cas du bruit de type impulsif) tendant ainsi à diminuer les avantages du codage.

Le codage peut améliorer la sécurité de fonctionnement mais, pour une largeur de bande donnée ou maximale, le retard supplémentaire introduit par le codage doit être admissible.

La sécurité de fonctionnement peut également être améliorée par un codage si, pour une vitesse donnée d'un canal, la largeur de bande peut être augmentée sans que les effets du bruit reçu deviennent excessifs. C'est généralement le cas pour les systèmes radio, en particulier pour les bandes V.H.F. et S.H.F., pour lesquelles on peut obtenir de grandes largeurs de bande et de faibles niveaux de bruit.

Il faudra faire, pour chaque cas particulier, une évaluation attentive de l'interdépendance mutuelle de ces trois variables : l'importance du codage, la largeur de bande disponible ou nécessaire et le niveau de bruit. L'annexe A1 donne des informations plus complètes sur les aspects de la théorie de l'information concernant la corrélation entre la largeur de bande et le rapport signal/bruit.

Si dans l'avenir, la protection des lignes, d'usage courant actuellement, est étendue à ce qu'on peut appeler la "protection du réseau", alors il faudra sans doute transmettre plus d'informations à des vitesses encore plus élevées, et par conséquent, ces considérations fondamentales prendront une plus grande importance.

A tripping or blocking signal is a "one bit" binary signal and needs the minimum bandwidth for a given channel speed.

Coding implies conversion of a one-bit information into a multi-bit group (called a word).

Assuming the same channel speed is required then three main factors have to be considered :

- (a) Code conversion and re-conversion (including code checking) should not add any appreciable time delay and the transmission has therefore to be of the high speed type (say 500 - 1000 bits/sec).
- (b) Channel bandwidth has accordingly to be increased, say by 3 - 5 times.
- (c) The noise introduced into the channel on the receiving side increases by almost the same factor (in case of the burst-type of noise), thus tending to reduce the benefit of coding.

Coding can improve the reliability but, for a given or maximum available bandwidth, the additional time delay introduced by the coding must be acceptable.

Reliability can also be improved by coding if, for a given channel speed, the bandwidth can be increased without the effect of received noise becoming excessive. This is usually the case for radio systems especially in the V.H.F. and S.H.F. range, where wide bandwidths and low noise levels can be achieved.

Careful evaluation of the mutual interdependence of the three variables, the degree of coding, available or necessary bandwidth, and the amount of noise has to be made in each individual case. Appendix A1 gives further information on the communication theory aspects of the interchange of bandwidth and signal/noise ratio.

If in future systems the line protection in common use today is extended to cover the so-called "network protection" then more information may have to be transmitted at even higher speeds and thus these fundamental considerations will become of greater importance.

5. – CONCLUSIONS

5.1

Ce rapport doit être considéré comme étant la première étape permettant une meilleure compréhension par les ingénieurs des télécommunications des exigences régissant l'utilisation d'une voie de transmission à des fins de protection, et une meilleure compréhension par les ingénieurs des protections des limites et des possibilités des voies de télécommunications lorsqu'elles servent pour la protection. Pour cette raison, aucun des deux domaines n'a été traité en détail.

5.2

Pendant la durée des travaux du groupe, il est apparu à plusieurs reprises qu'il existe souvent une certaine ignorance des problèmes de l'un des domaines par les spécialistes de l'autre, et cela rend encore beaucoup plus nécessaire une approche commune des problèmes de conception des systèmes de téléprotection par les ingénieurs des protections et des télécommunications. Il paraît vraisemblable que, tandis que les techniques électroniques seront de plus en plus largement utilisées dans les systèmes de protection, une collaboration plus étroite dans la conception et la réalisation des systèmes de téléprotection deviendra nécessaire.

5.3

Tout au long de ce rapport, on a constamment fait allusion à l'utilité de coordonner les exigences de sécurité de fonctionnement de la voie de télécommunications avec celles de la protection et des disjoncteurs associés, en tenant compte de la conception et de l'exploitation du réseau de transport d'énergie.

Actuellement, cette coordination n'a pas lieu de façon étroite parce que la sécurité de fonctionnement des différentes parties est rarement connue quantitativement.

5.4

L'introduction de systèmes de protection et de commande nouveaux et plus perfectionnés, dans lesquels une estimation rapide et à grande échelle de l'information, y compris la protection, sera la base de décisions logiques, paraît être un pas en avant évident dû à l'usage croissant des techniques électroniques. Dans ce nouveau contexte, les domaines des protections et des télécommunications seront inévitablement plus imbriqués l'un dans l'autre qu'actuellement.

5.5

Les problèmes grandissants de la protection de réserve (protection de l'ensemble du réseau) peuvent conduire à l'utilisation de plans coordonnés qui tiennent compte simultanément des conditions existant en des points très éloignés du réseau et ainsi augmentent l'importance d'une compréhension mutuelle de l'imbrication des protections et des télécommunications.

5.6

Les méthodes d'utilisation des liaisons de téléinformation pour la protection, telles qu'elles sont décrites dans le rapport, sont basées sur la pratique courante et elles peuvent, dans la

5. - CONCLUSIONS

5.1

This report should be regarded as the first stage in improving the understanding by telecommunication engineers of the requirements governing the use of a channel for protective purposes, and by protection engineers of the limitations and capabilities of telecommunication channels when used for protection. For this reason, neither field is covered in great detail.

5.2

During the course of the work it was frequently revealed that there is often some measure of ignorance between the two fields and this has still further emphasised the need for a common approach by protection and telecommunication experts alike to the design of teleprotection systems. It seems likely that as electronic techniques become more and more widely used in the protection systems there will be a need for a more unified approach to the design and application of teleprotection systems.

5.3

Throughout the report, continued reference has been made to the desirability of co-ordinating the reliability requirements of a telecommunication channel with those of the associated protection and circuit-breakers, taking into account the design and operation of the power system.

At present, this co-ordination is done rather loosely because the reliability of the various components is often not known quantitatively.

5.4

The introduction of new and more advanced systems of protection and control in which large scale and rapid assessment of information, including protection, will be made the basis of logical decisions, seems a clear step from the increasing use of electronic techniques. In this new area the protection and telecommunication fields will inevitably be more closely concerned with one another than at present.

5.5

The growing problems of back-up protection (overall network protection) may lead to the use of co-ordinated schemes which assess collectively the conditions existing at widely separated points on the networks and so enhance the importance of mutual understanding of the inter-action between protection and telecommunications.

5.6

The methods of using information links for teleprotection as described in the report are based on current practice and in most cases can provide the required reliability. However,

plupart des cas, fournir la sécurité de fonctionnement exigée. Cependant, à cause des orientations choisies pour le développement des réseaux d'énergie et des besoins croissants d'équipements de téléprotection plus sûrs et plus rapides, il n'est pas impossible qu'une nouvelle approche de ces problèmes soit nécessaire dans l'avenir. Par exemple, il sera peut-être fondamental d'utiliser des techniques de détection plus complexes pour atténuer les effets du bruit et d'employer une méthode de comparaison d'une information arrivant simultanément par deux (ou plus) chemins distincts (et probablement différents) ainsi que d'introduire de la redondance dans l'ensemble du système de téléprotection pour se protéger d'une défaillance éventuelle des équipements.

with the trends in development in power systems and the increasing needs for more reliable and faster teleprotection equipment, it may well be that a new approach will be required in the future. For example, it may be essential to use sophisticated detection techniques to mitigate the effects of noise and to utilise comparison of information arriving simultaneously by two or more separate (and probably different) routes and to incorporate redundancy in the whole teleprotection system to cater for equipment failure.

6. - RECOMMANDATIONS

6.1

Des efforts seront nécessaires pour amener les spécialistes des études de réseaux, des protections et des télécommunications à travailler ensemble dès le tout début des spécifications, de la conception et du développement d'un projet de téléprotection, de façon à pouvoir éviter l'utilisation de voies de transmission intrinsèquement inadaptées à un système particulier.

6.2

La préparation d'un rapport ultérieur est recommandée, rapport donnant des détails plus complets sur les exigences des protections et des télécommunications, avec une attention particulière pour les problèmes posés par les effets des défaillances des voies de transmission et les perturbations de tout genre.

Ce travail futur dépendra de la continuation des recherches dans différents pays et, bien qu'il puisse être possible de préparer dès maintenant les bases d'un rapport éventuel, la coordination des connaissances acquises et l'acquisition de connaissances par des mesures et des essais demandera un certain temps. L'objectif immédiat est de faire des recommandations fermes en ce qui concerne les mérites des différentes liaisons de téléinformation pour les différents systèmes de protection.

6.3

La sécurité de fonctionnement en général et les effets du bruit et des perturbations sur le comportement des protections en particulier méritent qu'on les considère comme une "question à étudier en priorité". Il serait souhaitable qu'une telle étude tienne compte davantage en ce qui concerne la sécurité de fonctionnement, de notions basées sur une étude statistique des probabilités.

6.4

Les usagers des téléprotections devront être incités à préciser les chiffres des performances minimales qu'ils admettent pour l'ensemble du système en boucle fermée, et à définir le nombre de fonctionnements intempestifs et d'actionnements volontaires non exécutés qui peuvent être tolérés sur une période donnée.

6.5

Il sera nécessaire de continuer à étudier en commun l'interdépendance de divers facteurs tels que vitesse de transmission, largeur de bande et bruit, en fonction des différents systèmes de téléprotection. Cela nécessitera des études expérimentales et des mesures, en particulier en ce qui concerne le bruit d'origine électrique sur les réseaux. L'application éventuelle des techniques de corrélation pour l'identification du signal devra être examinée.

6.6

L'utilisation des liaisons de téléinformation pour la protection de réserve devra être considérée en vue d'une étude ultérieure plus détaillée.

6. – RECOMMENDATIONS

6.1

Efforts should be made to bring together power system planning, protection and telecommunication experts at the earliest stages in the specification, design and development of a teleprotection scheme, so that the use of intrinsically unsuitable channels for any particular system can be avoided.

6.2

The preparation of a further report giving more comprehensive details of protection and telecommunication requirements, with particular reference to the effects of channel failures and various types of interference is recommended.

This further work would depend on continued research in various countries and although the basis of a possible report could be prepared now, it would require some time to co-ordinate existing information and obtain further information by measurement and test. The immediate objective would be to make firm recommendations as to the merits of different information links for various protection systems.

6.3

The reliability in general and in particular the effects of noise and interference on the behaviour of protection, merits consideration as a "preferred study question".

Such a study should preferably attempt to introduce more quantitative assessments of reliability based on statistical probabilities.

6.4

The users of teleprotection should be encouraged to specify quantitative figures of the acceptable performance of the overall closed loop systems, defining the number of false operations and failures to operate which can be accepted in a given period.

6.5

There is a need for further joint study of the interdependent factors of speed, bandwidth and noise in relation to particular teleprotection systems. This will necessitate experimental investigations and measurements, particularly of electrical noise on power systems. The possible application of correlation techniques to signal recognition should be examined.

6.6

The subject of information links for back-up protection should be considered for further detailed study.

7. – LISTE DES FIGURES

Section 1

<u>Fig. N°.</u>	<u>Titres</u>	<u>Pages</u>
1.1	Boucle de déclenchement constituée par la protection et le disjoncteur...	16
1.2	Protection à maximum de courant simple.....	22
1.3	Protection à maximum de courant de l'ensemble d'un transformateur et d'une liaison, à seuil élevé.....	22
1.4	Limitation de la zone couverte par la protection par le mode de couplage ou le branchement du transformateur.....	24
1.5	Sélectivité par échelonnement des temps de fonctionnement des relais ..	24
1.6	Sélectivité par dispositif directionnel.....	24
1.7	Sélectivité par mesure de distance.....	24
1.8	Sélection précise - cas d'une zone localisée.....	26
1.9	Sélection précise - cas d'une zone à extrémités distantes.....	26
1.10	Interdéclenchement dans le cas d'un ensemble transformateur-liaison...	34
1.11	Exemple de télédéclenchement.....	36
1.12	Lignes longues suivies de lignes courtes.....	38
1.13	Lignes longues fortement chargées.....	38
1.14	Ligne courte avec défaut résistant.....	38

Section 2

2.1	Transformateur de sommation.....	46
2.2	Composantes symétriques obtenues suivant le branchement.....	46
2.3	Réseau à composante inverse.....	46
2.4	Protection différentielle de base.....	48
2.5	Protection différentielle à pourcentage - un point de relaiage.....	50
2.6	Protection différentielle à pourcentage - deux points de relaiage.....	50
2.7	Equivalence des systèmes à équilibre de tension et de courant.....	52
2.8	Relations de base entre l'impédance des fils pilotes et la sélectivité ...	54
2.9	Impédances de base des pilotes.....	54
2.10	Caractéristiques des relais en fonction de l'impédance du pilote.....	54
2.11	Compensation de l'impédance du pilote pour les défauts externes.....	56
2.12	Emploi de la limitation.....	60
2.13	Emploi de relais de démarrage à réglages haut et bas.....	62
2.14	Concept de base de la protection à comparaison de phase.....	64
2.15	Effet de la capacité de la ligne sur la comparaison de phase.....	66
2.16	Compensation du courant capacitif de la ligne - comparaison de phase..	66
2.17	Comparaison de phase sur fils pilotes avec signaux à fréquence industrielle.....	68
2.18	Schéma de principe d'un système de protection à fils pilotes utilisant la méthode "Casson - Last" de comparaison de phase.....	70
2.19	Système de comparaison de phase par courants porteurs sur ligne H. T.	70
2.20	Influence de l'amplitude du courant sur la modulation.....	72
2.21	Caractéristiques de modulation et déphasages dûs au courant capacitif..	72

7. – LIST OF FIGURES

Section 1

<u>Fig. No.</u>	<u>Title</u>	<u>Pages</u>
1.1	Switching loop of protection and circuit-breaker.....	17
1.2	Simple overcurrent protection.....	23
1.3	High set overcurrent protection on transformer feeder.....	23
1.4	Restriction of zone protection by transformer connection.....	25
1.5	Selectivity by grading of relay operating times.....	25
1.6	Selectivity by direction feature.....	25
1.7	Selectivity by distance measurement.....	25
1.8	Precise selection - localised zone.....	27
1.9	Precise selection - remote terminals.....	27
1.10	Feeder/transformer - intertripping.....	35
1.11	An example of "tele-tripping".....	37
1.12	Short lines adjacent to long lines.....	39
1.13	Long heavily loaded lines.....	39
1.14	Short line with fault resistance.....	39

Section 2

2.1	Summation transformer.....	47
2.2	Sequence components by connections.....	47
2.3	Network for negative sequence output.....	47
2.4	Basic differential protection.....	49
2.5	Biased differential protection - one relaying point.....	51
2.6	Biased differential protection - two relaying points.....	51
2.7	Equivalence of voltage balance and current balance systems.....	53
2.8	Basic relationship between pilot wire impedance and selectivity.....	55
2.9	Basic impedances of pilots.....	55
2.10	Relay characteristics in relation to pilot impedances.....	55
2.11	Compensation for pilot wire impedance on external faults.....	57
2.12	Use of limiting.....	61
2.13	Use of high set and low set starting relays.....	63
2.14	Basic concept of phase comparison protection.....	65
2.15	The effect of line capacity current on comparison of phase.....	67
2.16	Compensation for line capacity current - phase comparison.....	67
2.17	Phase comparison over pilot-wires with power frequency signals.....	69
2.18	Basic arrangement of pilot-wire system of protection using the 'Casson-Last' phase-comparison method.....	71
2.19	Power line carrier phase comparison scheme.....	71
2.20	Effect of current magnitude on modulation.....	73
2.21	Modulation characteristic and capacity current phase shifts.....	73

Section 2

<u>Fig. N°.</u>	<u>Titres</u>	<u>Pages</u>
2.22	Comparaison de phase avec impulsion repère	74
2.23	Déclenchement interdépendant par défaut provoqué	82
2.24	Déclenchement interdépendant utilisant la protection principale	84
2.25	Exemple de protection de distance à caractéristique discontinue	84
2.26	Caractéristiques d'impédance des relais de distance	86
2.27	Protection de distance à accélération avec déclenchement interdépendant contrôlé	86
2.28	Protection de distance à accélération - limitation des effets du bruit ...	86
2.29	Protection de distance à dépassement avec autorisation	86
2.30	Sélectivité par dispositifs de verrouillage	90
2.31	Exemple de protection de distance à verrouillage	90
2.32	Exemple de comparaison du sens de la puissance	92
2.33	Exemples de circuits à extrémités multiples	94
2.34	Portée du 1er échelon sur des circuits à extrémités multiples	96
2.35	Erreur due à une injection	96
2.36	Protection différentielle pour circuits à extrémités multiples	98
2.37	Circuits à extrémités multiples - difficultés présentées par la comparaison de phase et la comparaison de sens	100
2.38	Démarrage sur les circuits à extrémités multiples - relais de courant ..	102
2.39	Démarrage sur les circuits à extrémités multiples - relais de distance ..	102
2.40	Combinaison de la protection de distance et de la comparaison de phase ..	104
2.41	Protection à comparaison de phase avec adjonction d'une fonction de verrouillage	106
2.42	Protection "Echo"	106
2.43	Exemples de doublement des protections	108

Section 3

3.1	Exemple de l'ordre de grandeur du bruit engendré par un sectionneur, mesuré dans un cas particulier	118
3.2	Schéma de base d'un équipement simplifié d'interdéclenchement unilatéral (téléclenchement)	134
3.3	Schéma de base d'un équipement simplifié d'interdéclenchement bilatéral (téléclenchement)	134
3.4	Agencement type d'un relais protégé contre les surtensions	136
3.5	Relais d'interdéclenchement à basse impédance, protégé contre les surtensions, utilisant le même circuit qu'un système de protection différentielle	136
3.6	Schéma d'interdéclenchement protégé contre les surtensions, utilisant des relais accordés connectés en série	140
3.7	Système à déplacement de fréquence utilisant un seul oscillateur et un récepteur à discriminateur de fréquence	142
3.8	Système à déplacement de fréquence à quatre fréquences	144
3.9	Équipement de transmission de signaux par déplacement de fréquence avec surveillance du canal	144
3.10	Exemple d'élévation du potentiel de terre dans un poste montrant la protection des fils pilotes	150
3.11	Tension induite en fonction de la résistivité et de la distance ($f = 50$ Hz) [calculée en l'absence de fil de terre]	152
3.12	Tension induite en fonction de la résistivité et de la distance, montrant l'influence d'un câble de terre (l'effet d'écran de la gaine du câble auxiliaire n'est pas pris en compte)	152
	($k = \infty$ équivaut à l'absence de câble de terre)	
3.13	Signalisation de défauts sur un circuit de transmission par fils	158
3.14	Dispositif typique de protection contre les surtensions pour lignes aériennes	160
3.15	Transformateur neutralisateur ou réactance à 2 enroulements	162

Section 2

<u>Fig. No.</u>	<u>Title</u>	<u>Pages</u>
2.22	Phase comparison by pulse sampling.....	75
2.23	Intertripping by fault throwing.....	83
2.24	Intertripping over main protection.....	85
2.25	Typical stepped distance/time protection.....	85
2.26	Complex impedance characteristics of distance relays.....	87
2.27	Accelerated distance protection using permissive intertripping.....	87
2.28	Accelerated distance protection limitation of effects of noise.....	87
2.29	Permissive over-reaching distance protection.....	87
2.30	Selectivity by means of blocking.....	91
2.31	Typical scheme of blocking distance protection.....	91
2.32	Typical scheme of power direction comparison.....	93
2.33	Typical multi-ended circuits.....	95
2.34	Zone 1 Reach on Multi-ended circuits.....	97
2.35	Error due to infeed.....	97
2.36	Differential protection for multi-ended circuits.....	99
2.37	Multi-ended circuits - some difficulties of phase comparison and direction comparison.....	101
2.38	Starting on multi-ended circuits - current operated relays.....	103
2.39	Starting on multi-ended circuits - distance relays.....	103
2.40	Combination of distance protection and phase comparison.....	105
2.41	Phase comparison protection with addition of blocking feature.....	107
2.42	Echo protection.....	107
2.43	Examples of duplicate protection.....	109

Section 3

3.1	Example of order of magnitude of isolator generated noise, measured in a typical case.....	119
3.2	Basic arrangement of simple one-way intertripping (transfer tripping) equipment.....	135
3.3	Basic arrangement of simple two-way intertripping (transfer tripping) equipment.....	135
3.4	Typical design of surge-proof relays.....	137
3.5	Low impedance surge-proof intertripping relay sharing the circuit of a differential protection scheme.....	137
3.6	Surge-proof intertripping scheme using series-connected tuned relays ..	141
3.7	Frequency shift system employing single oscillator and receiver with frequency discriminator.....	142
3.8	4-frequency-shift system.....	144
3.9	Frequency-shift signalling equipment with channel supervision.....	144
3.10	Example of rise of earth potential in station showing pilot protectors ..	151
3.11	Induced voltage as a function of resistivity and spacing ($f = 50$ Hz) [calculated on the basis of no earth wire being used].....	153
3.12	Induced voltage as a function of resistivity and spacing, showing effect of earth wire (screening by auxiliary cable sheath not allowed for),.... ($k = \infty$ is equivalent to having no earth wire) 1 ft = 0.3048 m 1 m = 3.281 ft	153
3.13	Wire line communication channel supervision.....	159
3.14	Typical layout of surge protection for wire line systems.....	161
3.15	2-winding neutralizing transformer or reactor.....	163

Section 3

<u>Fig. N°.</u>	<u>Titres</u>	<u>Pages</u>
3.16	Schémas - types de circuits 2 fils, protégés contre les surtensions, utilisant des transformateurs d'isolement pour la transmission téléphonique.	162
3.17	Schéma simplifié d'un couplage phase - terre.....	164
3.18	Schéma simplifié d'un couplage interphase	164
3.19	Liaison mixte téléphonie - protection sur courants porteurs à couplage inter-phases, dans le sens A \rightarrow B seulement.....	166
3.20	Transmission de protection à déplacement de fréquence par courants porteurs.....	166
3.21	Affaiblissements de ligne courants pour diverses valeurs de d/h (distance entre conducteurs/hauteur au-dessus du sol) (d'après le rapport CIGRE 319 - 1962).....	166
3.22	Réponse d'un filtre passe-bande à l'application brusque d'une tension sinusoïdale de fréquence F_0	170
3.23	Dispositif mixte téléphonie - protection sur un équipement à courants porteurs sur ligne d'énergie	174
3.24	Antennes radio	184

Annexes

A2.1	Redondance et sécurité de fonctionnement.....	296
A4.1	Schéma simplifié d'un dispositif de couplage	312
A4.2	Equivalent HF du schéma de la fig. 1.....	312
A4.3a	Dispositif de couplage pour courants porteurs.....	314
A4.3b	Dispositif de couplage pour courants porteurs.....	314
A4.4	Coupleur directionnel de l'"Ontario Hydro".....	314
A4.5	Coupleur quart d'onde du C.E.R.L.	316

Section 3

<u>Fig. No.</u>	<u>Title</u>	<u>Pages</u>
3.16	Typical designs for surge protected 2-wire systems using insulating transformers for voice current transmission.....	163
3.17	Simplified circuit of phase-earth coupling arrangement	165
3.18	Simplified circuit of phase-phase P.L.C. coupling arrangement.....	165
3.19	Composite speech and protection facilities on P.L.C. phase/phase coupling in direction A → B only.....	167
3.20	Frequency shift carrier protection signalling	167
3.21	Typical line attenuation for various values of d/h (Distance between H.V. wires/height over ground) (From CIGRE paper 319, 1962).....	167
3.22	Response of a band-pass filter when a sinusoidal voltage of frequency F_0 is suddenly impressed.....	171
3.23	Composite speech and protection facilities on power line carrier communications equipment.....	175
3.24	Radio aerials.....	185

Appendices

A2.1	Redundancy and reliability.....	297
A4.1	Simplified circuit diagram of coupling equipment.....	313
A4.2	H.F. equivalent circuit of figure 1.....	313
A4.3a	Carrier coupling equipment.....	315
A4.3b	Carrier coupling equipment.....	315
A4.4	Ontario Hydro directional coupler.....	315
A4.5	C.E.R.L. quarter wave coupler	317

8. - GLOSSAIRE

Le Glossaire comprend deux Sections 8.1 et 8.2, traitant respectivement des termes concernant les Protections et les Télécommunications. Pratiquement tous les termes employés dans ce rapport répondent aux définitions existantes de la Commission Electrotechnique Internationale et de l'Union Internationale des Télécommunications. C'est la raison pour laquelle un glossaire complet n'a pas été introduit dans le rapport, mais on a choisi de reproduire certaines définitions officielles car la compréhension exacte de leur signification peut éclairer le thème traité. Les Sections 8.1 et 8.2 rassemblent ces définitions et donnent la référence des documents officiels dont elles sont extraites.

La Section 8.3 précise les différentes notations de niveau utilisées dans les télécommunications.

La Section 8.4 passe en revue les principaux vocabulaires ou normalisations dont sont extraites les définitions citées en 8.1 et 8.2.

La Section 8.5 donne une liste de "termes explicatifs", qui sont cités pour permettre une meilleure compréhension du rapport mais qui ne doivent pas être considérés comme des définitions officielles.

Les termes du Glossaire indiqués comme provenant de Publications de la C.E.I. sont reproduits avec l'aimable autorisation du Secrétariat Général de la C.E.I., 1, rue de Varembe, Genève. Le détail de ces Publications est donné à la Section 8.4.

Les termes du Glossaire indiqués comme provenant des Publications de l'U.I.T. sont reproduits avec l'aimable autorisation du Secrétariat Général de l'U.I.T., place des Nations, Genève. Le détail de ces publications est donné à la Section 8.4. Lorsqu'un terme est indiqué : U.I.T.*, c'est que le terme officiel est actuellement repris, complété, ou sa numérotation changée.

Les extraits des British Standards Specifications donnés dans le Glossaire sont reproduits avec l'autorisation de la British Standards Institution, 2 Park Street, London W.1., qui peut fournir des exemplaires de toutes ses publications. Le détail de celles-ci est donné à la Section 8.4.

Les extraits des publications de l'United States of America Standards Institution sont reproduits avec l'autorisation de l'United States of America Standards Institution, 10 East 40th Street, New York 10016, auprès de laquelle on peut se procurer des exemplaires. Le détail de ces publications est donné à la Section 8.4.

8. – GLOSSARY

The Glossary is divided into Sections 8.1 and 8.2 dealing with Protection and Telecommunication terms respectively. Almost all the terms used in the report are in accordance with existing definitions of the International Electrotechnical Commission and the International Telecommunications Union. For this reason an extensive glossary is not included in this report, but certain selected official definitions are reproduced as a clear understanding of their meaning can be helpful to the theme of the report. Sections 8.1 and 8.2 contain these definitions and give a reference to the official documents from which they have been taken.

Section 8.3 gives information on the different level notations used in telecommunications.

Section 8.4 lists the principal standards and vocabularies from which the definitions given in 8.1 and 8.2 have been extracted.

Section 8.5 includes a list of "Explanatory Terms" which are included for the better understanding of the report but are not intended to be taken as being standard definitions.

Those terms listed in the Glossary which are marked as being reproduced from I. E. C. publications, are reproduced by kind permission of the General Secretary, I. E. C., 1 rue de Varembe, Geneva. Details of the publications are given in Section 8.4.

Those terms listed in the Glossary which are marked as being reproduced from I. T. U. publications, are reproduced by kind permission of the Secretary General of the I. T. U., place des Nations, Geneva. Details of the publications are given in Section 8.4. Where a term is marked I. T. U.* the official term is in course of being reworded, extended and/or being renumbered.

Extracts from British Standards Specifications listed in the Glossary are reproduced by permission of the British Standards Institution, 2, Park Street, London, W.1. from whom copies of the complete standards may be obtained. Details of the publications are given in Section 8.4.

Extracts from the United States of America Standards Institution documents are reproduced by permission of the United States of America Standards Institution, 10 East 40th Street, New York, New York 10016, from whom copies may be obtained. Details of the publications are given in Section 8.4.

8. 1. - TERMES UTILISES DANS LE DOMAINE DES PROTECTIONS

Bobine d'extinction Bobine de Petersen BS. 204.80020	Réactance de mise à la terre conçue de telle sorte que le courant réactif à la terre qui la traverse en cas de défaut compense le courant capacitif à la terre provenant de la ligne d'énergie de façon à ce que le courant de terre à l'emplacement du défaut soit pratiquement réduit à zéro.
Circuit protégé CEI 16-45-005	Partie de l'installation protégée par un dispositif de protection
Comparaison du sens de la puissance USAS C. 37 - 1 - 1962	Forme de protection par pilote dans laquelle les positions relatives des éléments directionnels aux extrémités de la ligne sont comparées afin de déterminer si un défaut se trouve sur la ligne.
Conditionnel USAS C. 37 - 1 - 1962	Terme que l'on applique à un système de deux relais ou plus, pour indiquer qu'une coopération fonctionnelle est exigée avant que la commande ne devienne effective. <u>Note</u> - Ce terme peut être employé pour qualifier le déclenchement, le déclenchement interdépendant, avec ou sans dépassement.
Déclenchement interdépendant CEI 16-55-085	Méthode dans laquelle une impulsion émise par le dispositif de protection d'une des extrémités du circuit commande le déclenchement du disjoncteur de l'autre extrémité.
Déclenchement à distance USAS C. 37 - 1 - 1962	Terme général que l'on applique à une installation de relayage pour indiquer que le disjoncteur est situé physiquement en un point éloigné du relais ou du dispositif de protection qui le commande ou de la source d'énergie de déclenchement, ou des deux à la fois.
Dépassement USAS C. 37 - 1 - 1962	Extension de la zone protégée au-delà de celle définie par le réglage des relais.
Dispositif de protection de distance CEI 16-60-080	Dispositif de protection dont le fonctionnement dépend de la distance entre le point de raccordement du dispositif et l'endroit du défaut
Dispositif de protection de distance à caractéristique discontinue CEI 16-60-095	Dispositif de protection de distance dont la temporisation est une fonction discontinue de la distance mesurée, celle-ci étant subdivisée en plusieurs échelons ou zones.
Limite de stabilité statique à flux constant d'un système de transmission CEI 10-45-160	Puissance maximum que le système peut transmettre sans perte de synchronisme lors d'une variation lente de charge, lorsque le flux dans les circuits inducteurs des machines synchrones du système est maintenu constant.
Limite de stabilité dynamique à flux constant d'un système de transmission CEI 10-45-170	Puissance maximum que le système est capable de transmettre sans perte de synchronisme, lors d'une perturbation brusque, dans le cas où l'intervention des régulateurs synchrones a pour effet de maintenir constant le flux dans les circuits inducteurs des machines synchrones du système. Cette limite de stabilité dépend de la perturbation (augmentation de puissance, variation d'impédance, court-circuit, etc...) de sa grandeur et de sa durée.
Marche hors-synchronisme USAS C. 37 - 1 - 1962	Terme décrivant l'état d'un réseau dans lequel deux générateurs synchrones (ou moteurs synchrones) ou davantage, ont perdu le synchronisme l'un par rapport à l'autre et fonctionnent à des fréquences moyennes différentes.
Portée Etendue CEI 16-60-110	Pour un dispositif de protection de distance à caractéristique discontinue, distance correspondant à l'extrémité la plus éloignée de chaque échelon ou zone.

8. 1. -PROTECTION TERMS

<p>Arc suppression coil Petersen Coil BS 204.80020</p>	<p>An earthing reactor so designed that its reactive current to earth under fault conditions balances the capacitive current to earth flowing from the power line so that the earth current at the fault is limited to practically zero.</p>
<p>Back-up protection IEC 16-05-030</p>	<p>Back-up protection : Reserve protection : Protection provided to act as a substitute for the main protection in the event of failure or inability of the latter to perform its intended function.</p>
<p>Biased relay IEC 16-15-080</p>	<p>A relay of which the operating value is modified by means of an additional winding or a mechanical or magnetic device, providing a restraining force.</p>
<p>Blocking USAS C37-1-1962</p>	<p>A relaying function which prevents action that would otherwise be initiated by the relay system.</p>
<p>Distance protection IEC 16-60-080</p>	<p>Protection of which the operation depends upon the distance between the point of connection and the point of fault.</p>
<p>Intertripping IEC 16-55-085</p>	<p>A method in which the tripping of the circuit-breaker at one end of a circuit is initiated by a signal transmitted from the protection at the other end.</p>
<p>Longitudinal Differential Protection IEC 16-55-010</p>	<p>Differential protection in which the differential current equals the algebraic sum of the currents flowing into the protected zone.</p>
<p>Main protection IEC 16-05-025</p>	<p>Protection normally expected to take the initiative in case of a fault in the protected zone.</p>
<p>Out-of-step swinging USAS C37-1-1962</p>	<p>A term which describes a system condition when two or more synchronous generators (or motors) have lost synchronism with respect to one another and are operating at different average frequencies.</p>
<p>Overload IEC 05-41-195</p>	<p>The excess of the actual load over the nominal load.</p>
<p>Overreach USAS C37-1-1962</p>	<p>The extension of the zone of protection beyond that indicated by the relay setting.</p>
<p>Overreaching protection USAS C37-1-1962</p>	<p>A form of protection in which relays at one terminal are set to operate for faults beyond the next terminal. They may be constrained from tripping until an incoming signal from a remote terminal has indicated that the fault is within the protected line section. <u>Note</u> : The latter action may be termed "permissive", see definition.</p>
<p>Permissive USAS C37-1-1962</p>	<p>A term applied to a system of two or more relays to indicate that functional co-operation of the relays is required before control action can become effective. <u>Note</u> : This term may be used to qualify tripping, intertripping, underreaching and overreaching.</p>
<p>Petersen coil</p>	<p>See Arc Suppression Coil</p>
<p>Phase Comparison Protection IEC 16-55-050</p>	<p>Pilot protection in which the quantities compared are the phase angles of the currents or voltages at the terminals of the protected zone.</p>
<p>Pilot protection IEC 16-55-035</p>	<p>Protection based upon a comparison of the corresponding electrical quantities at each terminal of the protected zone, through the agency of communicating means such as a pilot-wire, carrier-current, a radio-link, etc.</p>

<p>Protection par comparaison de phase CEI 16-55-050</p> <p>Protection avec dépassement USAS C. 37 - 1962</p> <p>Protection sans dépassement USAS C. 37 - 1 - 1962</p> <p>Protection différentielle longitudinale CEI 16-55-010</p> <p>Protection par pilote CEI 16-55-035</p> <p>Protection par fils pilotes CEI 16-55-055</p> <p>Protection principale CEI 16-05-025</p> <p>Protection de réserve Protection de secours CEI 16-05-030</p> <p>Protection sélective CEI 16-45-035</p> <p>Relais de mise en route Relais de démarrage CEI 16-50-005</p> <p>Relais à retenue CEI 16-15-080</p> <p>Sélectivité USAS C. 37 - 1 - 1962</p>	<p>Protection par pilote dans laquelle les grandeurs comparées sont les phases des courants ou des tensions aux extrémités du circuit protégé.</p> <p>Forme de protection dans laquelle les relais d'une extrémité sont réglés pour fonctionner sur des défauts situés au-delà de l'autre extrémité. Ils peuvent être empêchés de provoquer le déclenchement jusqu'à ce qu'un signal reçu d'une extrémité éloignée indique que le défaut est situé dans la section de ligne protégée <u>Note</u> - Ce dernier type de fonctionnement peut être qualifié de "conditionnel" - voir définition.</p> <p>Forme de protection dans laquelle les relais d'une extrémité ne doivent fonctionner que pour des défauts situés en deçà d'un point éloigné donné sur la ligne ou l'ouvrage protégé, le disjoncteur de cette extrémité étant déclenché, pour tout défaut situé au-delà du point éloigné, soit par d'autres relais soit par un signal de déclenchement transmis de l'autre extrémité. Voir les définitions de "Télé déclenchement" et de "Déclenchement interdépendant".</p> <p>Protection différentielle dans laquelle le courant différentiel est la somme algébrique des courants entrant dans le circuit protégé.</p> <p>Protection basée sur la comparaison des valeurs des phases d'une même grandeur aux extrémités du circuit protégé, cette comparaison étant assurée par un moyen de télécommunication tel que : fils pilotes, courant porteur, équipement radio-électrique.</p> <p>Protection par pilote dans laquelle des conducteurs auxiliaires sont utilisés comme moyen de communication entre les extrémités du circuit protégé.</p> <p>Protection qui doit intervenir normalement en cas de défaut dans le circuit protégé.</p> <p>Protection destinée à se substituer à la protection principale lorsque celle-ci est défailante.</p> <p>Dispositif de protection qui a pour effet de séparer du circuit une partie déterminée dans laquelle est survenu un défaut et cette partie seulement. La protection est sélective indépendante si le dispositif de protection fonctionne seulement pour les défauts dans la partie qu'il protège. La protection est sélective dépendante si la sélectivité est obtenue par un échelonnement (dans le temps, dans les valeurs de réglage, etc...) correspondant à plusieurs parties de l'installation.</p> <p>Relais qui autorise le fonctionnement d'un dispositif de protection en cas de défaut ou de conditions de service anormales.</p> <p>Relais dont la valeur de réglage est modifiée au moyen d'un enroulement additionnel ou d'un dispositif magnétique ou mécanique qui produit une force de retenue.</p> <p>Dans un système de protection, terme général décrivant le fonctionnement conjoint des relais, ou d'autres dispositifs de protection, par lequel une quantité minimale d'appareils est mise hors service pour l'élimination d'un défaut ou de toute autre anomalie.</p>
---	---

<p>Pilot wire protection IEC 16-55-055</p>	<p>Pilot protection in which an auxiliary metallic circuit is used as the communicating means between the terminals of the protected zone.</p>
<p>Power direction comparison USAS C37-1-1962</p>	<p>A form of pilot protection in which the relative positions of the directional units at the line terminals are compared to determine whether a fault is in the line.</p>
<p>Protected zone IEC 16-45-005</p>	<p>The part of an installation guarded by a certain protection.</p>
<p>Reach IEC 16-60-110</p>	<p>For stepped curve distance-time protection : the distance corresponding to the farther end of each step or zone.</p>
<p>Remote tripping USAS C37-1-1962</p>	<p>A general term applied to a relay installation to indicate that the circuit-breaker is physically located at a point remote from the initiating protective relay, device, or source or both of tripping power.</p>
<p>Selective protection IEC 16-45-035</p>	<p>Protection which determines that the fault is within its own zone and isolates that zone only. The selectivity is <u>absolute</u> if the protection responds only to faults within its own zone, and <u>relative</u> if it is obtained by grading the settings (e.g. time or current) of the protections of several zones, all of which may respond to a given fault.</p>
<p>Selectivity USAS C37-1-1962</p>	<p>For a protective system, a general term describing the inter-related performance of relays, and of other protective devices, whereby a minimum amount of equipment is removed from service for isolation of a fault or other abnormality.</p>
<p>Stability limit Steady state IEC 10-45-160</p>	<p>Steady-state stability limit, with constant flux, of a transmission system : The maximum power that the system can transmit without loss of synchronism during a slow variation of the load, when the flux in the fields of the synchronous machines of the system is kept constant.</p>
<p>Transient IEC 10-45-170</p>	<p>Transient stability limit with constant flux of a transmission system : The maximum power that the system is capable of transmitting without loss of synchronism, in cases where the intervention of synchronous regulators has the effect of keeping the flux constant in the field circuits of the synchronous machines of the system. This stability limit depends on the disturbance (increase of power, variation of impedance, short-circuit, etc.) on its magnitude and its duration.</p>
<p>Starting elements or relays IEC 16-50-005</p>	<p>An element of a protection which responds to faults or abnormal service conditions and initiates the operation of other elements of the protection.</p>
<p>Stepped distance/time IEC 16-60-095</p>	<p>Stepped curve distance-time protection : Distance protection of which the time-lag is a stepped function of the distance measured, the latter being correspondingly subdivided into several steps or zones.</p>
<p>Transfer tripping USAS C37-1-1962</p>	<p>A term applied to a relay method to indicate that a communication channel is used to transmit the signal for tripping from the relay location to a remote location.</p>
<p>Underreaching protection USAS C37-1-1962</p>	<p>A form of protection in which the relays at a given terminal are intended to operate only for faults at or nearer than a specified remote location on the protected line or equipment ; the circuit-breaker on the given terminal being tripped for faults beyond this location either by other relays or by a transferred trip signal from a remote terminal. See definitions of transfer tripping and intertripping.</p>

Surcharge CEI 05-41-195	Excès de la charge actuelle sur la charge nominale
Télédéclenchement USAS C. 37 - 1 - 1962	Terme appliqué à une méthode de protection pour indiquer que l'on utilise une voie de téléinformation pour transmettre le signal de déclenchement du point de raccordement des relais à un emplacement éloigné.
Verrouillage USAS C. 37 - 1 - 1962	Fonction de relayage qui empêche l'action que produirait autrement le système de relais.

8. 2. - TERMES UTILISES DANS LE DOMAINE DES TELECOMMUNICATIONS

Bande latérale CEI 60-06-025	Ensemble des composantes spectrales d'une oscillation (onde) modulée, de fréquences plus grandes (bande latérale supérieure) ou plus petites (bande latérale inférieure) que la fréquence porteuse.
Baud UIT 31.28 BS 204.72512	Unité de rapidité de modulation. Elle correspond à une rapidité d'un intervalle unitaire par seconde. Exemple : si la durée de l'intervalle unitaire est de 20 millisecondes, la rapidité de modulation est de 50 bauds.
Bel ; Décibel UIT 04.04 CEI 55-05-120	Unités de transmission, servant, en principe, à exprimer le rapport de deux puissances. Le nombre de bels est égal au logarithme décimal de ce rapport.

Le décibel correspond au dixième du bel.

Remarque : Si P_1 et P_2 représentent deux valeurs de puissance, N le nombre de bels, n le nombre de décibels correspondant à leur rapport,

$$N = \log_{10} (P_1 / P_2)$$

$$n = 10 \log_{10} (P_1 / P_2)$$

Quand on se trouve dans des conditions telles que les rapports scalaires de courants ou de tensions (ou de grandeurs analogues d'autres domaines) soient les racines carrées des rapports de puissance correspondants, le nombre de décibels représentant l'écart entre les puissances correspondantes peut s'exprimer par les formules suivantes :

$$n = 20 \log_{10} (I_1 / I_2)$$

$$n = 20 \log_{10} (V_1 / V_2)$$

où I_1 / I_2 et V_1 / V_2 sont respectivement les rapports de courants ou de tensions donnés.

Par extension, ces relations entre nombre de décibels et rapports scalaires de tensions ou de courant sont quelquefois appliquées quand ces rapports ne sont pas les racines carrées de rapports de puissances correspondantes : pour éviter toute confusion, un tel emploi du mot "décibel" devrait être accompagné d'une indication précise permettant de reconnaître quelles sont, dans le cas particulier envisagé, les grandeurs prises en considération (Voir 04-02 - Unités de transmission).

Brouillage :
CEI 60-08-025

Trouble apporté à la réception d'un signal utile par un autre signal ou par une perturbation électromagnétique.

8. 2. -TELECOMMUNICATION TERMS

Amplitude modulation BS 204.14014	Modulation in which the amplitude of a carrier is the characteristic varied.
Angle modulation BS 204.14015	Modulation in which the phase angle of a sine-wave carrier is the characteristic varied. <u>Note</u> : Frequency and phase modulation are particular forms of angle modulation.
Arc suppression coil Petersen Coil BS 204.80020	An earthing reactor so designed that its reactive current to earth under fault conditions balances the capacitive current to earth flowing from the power line so that the earth current at the fault is limited to practically zero.
Balanced line ITU 11.10	A line having conductors of the same type, equal conductor resistances per unit length and equal impedances and admittances from each conductor to earth and to other electrical circuits.
Baud ITU 31.28 BS 204.72512	The unit of modulation rate. It corresponds to a rate of one unit interval per second. Example : If the duration of the unit interval is 20 milliseconds the modulation rate is 50 bauds.
Bel ; Decibel ITU 04.04 IEC 55-05-120	Transmission units giving the ratio of two powers. The number of bels is equal to the logarithm to the base ten of the power ratio. The decibel is equal to one-tenth of a bel.

Note : If P_1 and P_2 represent two values of power, N the number of bels, n the number of decibels denoting their ratio,

$$N = \log_{10} (P_1 / P_2)$$

$$n = 10 \log_{10} (P_1 / P_2)$$

When the conditions are such that scalar ratios of currents or voltages (or analogous quantities in other fields) are the square roots of the corresponding power ratios, the number of decibels by which the corresponding powers differ may be expressed by the following formulae :

$$n = 20 \log_{10} (I_1 / I_2)$$

$$n = 20 \log_{10} (V_1 / V_2)$$

where I_1 / I_2 and V_1 / V_2 are the given current and voltage ratios respectively.

By extension, these relations between numbers of decibels and scalar ratios of currents or voltages are sometimes applied where these ratios are not the square roots of the corresponding power ratios ; to avoid confusion, such use of the word "decibel" should be accompanied by a specific statement giving in the particular case quantities concerned.

Booster transformer
BS 204.80021

In inductive co-ordination. A transformer connected into an a. c. railway system to ensure that a high proportion of the return current will flow through the rails, or a specially provided return conductor, and not through the earth.

Note : Such transformers are sometimes used on a. c. railway systems to mitigate the effects of magnetic induction when telecommunication lines are exposed to induction from such systems.

Bruit CEI 55-10-050	Tout son indésirable. Par extension, toute perturbation indésirable telle que des ondes électriques que l'on ne désire pas recevoir dans la voie de transmission ou l'appareil considéré. La diaphonie, les produits de distorsion harmonique et les produits d'intermodulation sont quelquefois classés dans les bruits.
Bruit d'agitation thermique Bruit thermique BS 204.15006	Bruit erratique produit dans les amplificateurs et dû au mouvement brownien des électrons dans les conducteurs.
Bruit blanc	Voir "bruit à spectre continu et uniforme".
Bruit de caractère impulsif BS 204.15005	Bruit caractérisé par des perturbations brusques qui ne se recouvrent pas.
Bruit de circuit UIT 06.06	On désigne sous le nom de "bruit de circuit" tous les bruits engendrés électriquement dans le circuit.
Bruit erratique UIT 06.03 (BS 204.15004)	Bruit dû à la superposition d'un grand nombre d'ébranlements élémentaires se produisant dans le temps suivant les lois du hasard.
Bruit erratique triangulaire BS 204.15008	Bruit erratique dont la répartition spectrale est telle que la puissance du bruit par unité de largeur de bande est proportionnelle au carré de la fréquence.
Bruit d'intermodulation BS 204.15003	Bruit dû à l'intermodulation.
Bruit à spectre continu et uniforme Bruit blanc BS 204.15007	Bruit erratique dont la répartition spectrale, entre des limites de fréquence spécifiées, est telle que la puissance du bruit par unité de largeur de bande est indépendante de la fréquence.
Caractère (d'écriture) UIT 31.08	Lettre, chiffre ou autres signes entrant dans la constitution d'un texte à transmettre par télégraphie alphabétique. - Élément pris dans un ensemble prédéterminé (ensemble de caractères). Lettre ou nombre (caractère alpha-numérique)
Charge BS 204.52115	Augmentation de l'inductance d'une ligne dans le but d'améliorer ses caractéristiques de transmission dans une bande donnée de fréquences.
Charge continue Krarupisation BS 204.52117	Charge d'une ligne par l'application d'une couche continue ou l'enroulement d'une bande continue d'un matériau magnétique, le long de chaque conducteur.
Charge inductive	Voir charge.
Circuit longitudinal UIT 11.09	Circuit constitué par un conducteur téléphonique (ou deux ou plusieurs conducteurs en parallèle), le retour s'effectuant par la terre ou au moyen de tout autre conducteur à l'exception de ceux qui sont utilisés en association avec le conducteur (ou les conducteurs) précité pour former un circuit téléphonique métallique.
Code correcteur d'erreurs BS 3527.22313	Code détecteur d'erreurs utilisant des éléments de code supplémentaires de telle sorte que, pour certaines erreurs, la représentation déformée ressemble à l'original de plus près que n'importe quelle autre représentation valable. De telles erreurs peuvent ainsi être corrigées. Lorsque survient une erreur pour laquelle le code n'a pas été prévu, la "correction" peut être erronée.
Code correcteur d'erreurs UIT 33-35* (BS 204.72316)	Code détecteur d'erreurs comprenant suffisamment d'éléments de signalisation supplémentaires pour permettre d'indiquer la nature d'une partie ou de toutes les erreurs et d'en faire la correction à l'extrémité réceptrice.

Carrier wave ; carrier IEC 60-06-005	(a) The wave which is intended to be modulated. (b) In a modulated wave. The carrier-frequency spectral component.
Channel ITU 32.01*	The transmission media and intervening apparatus involved in the transmission of telegraph signals in a given direction, between two terminal sets, or more generally, between two intermediate telegraph installations. A means of one-way transmission of telegraph signals. (See also Section 8.5.2 for explanation of terms as used in the report).
Character ITU 31.08	Letter, figure, punctuation or other sign contained in a text to be transmitted by alphabetic telegraphy. One element of a pre-determined set (a "character" set). A letter, a number (an "alpha-numeric" character).
Circuit ITU 32.02*	A means of both way communication between two points comprising associated "send" and "receive" channels.
Circuit noise (line noise) ITU 06.06	All the noise arising electrically in a circuit.
Classification of transmissions IEC 60-40-005 BS 204.60003 (ITU*)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emissions are designated according to their classification and their necessary bandwidth. 2. Emissions are classified and symbolized according to the following characteristics(*): <ol style="list-style-type: none"> a) Type of modulation of main carrier. b) Type of transmission. c) Supplementary characteristics.
	3.1. Type of modulation of main carrier :
	Symbol
	a) Amplitude A
	b) Frequency (or phase) F
	c) Pulse P
	3.2. Type of transmission :
	a) Absence of any modulation intended to carry information 0
	b) Telegraphy without the use of modulating audio frequency 1
	c) Telegraphy by the on-off keying of a modulating audio frequency or frequencies or by the on-off keying of the modulated emission (special case : an unkeyed modulated emission) 2
	d) Telephony (including sound broadcasting) 3
	e) Facsimile (with modulation of main carrier either directly or by a frequency modulated sub-carrier) 4
	f) Television (vision only) 5
	g) Four-frequency duplex telegraphy 6
	h) Multichannel voice-frequency telegraphy 7
	i) Cases not covered by the above 9
	3.3. Supplementary characteristics :
	a) Double sideband None

 (*) As an exception to 3.1 to 3.3, damped waves are designated by B.

Code détecteur d'erreurs
BS 3527.22312

Code selon lequel chaque représentation d'un caractère est conforme à des règles précises de composition de telle sorte que, pour certaines erreurs, la représentation déformée ne correspond à aucun caractère valable ; la présence de telles erreurs peut être détectée sans se référer au message original.

Code détecteur d'erreurs
UIT 33.33
(BS 204.72315)

Code télégraphique selon lequel chaque signal télégraphique est conforme à des règles précises de composition telles que tout écart à ces règles dans les signaux reçus peut être automatiquement détecté. Un tel code exige nécessairement un plus grand nombre d'éléments de signalisation qu'il n'en faut pour transmettre l'information elle-même.

Code de modulation
d'impulsions :
CEI 55-35-070

Code dans lequel on emploie des groupes d'impulsions pour exprimer les valeurs quantifiées d'une caractéristique spécifiée d'un signal.

Code vérificateur d'erreurs
BS 3527.22314

Terme général englobant le code détecteur d'erreurs et le code correcteur d'erreurs.

Coefficient d'inter-
modulation
UIT 06-52

Rapport, évalué en centièmes, de la valeur efficace de l'ensemble des produits d'intermodulation à la valeur efficace, soit de l'une des ondes fondamentales (onde utile dans le cas d'une réception brouillée), soit de l'ensemble des ondes fondamentales.

Remarque :

En Grande-Bretagne, on exprime la distorsion d'intermodulation sous forme du quotient de la tension efficace d'un ou de plusieurs des produits d'intermodulation par la tension efficace d'une des ondes fondamentales, mesurée à la sortie du réseau qui produit la distorsion.

Coordination des inductions
BS 204.80001

Règles appliquées en matière d'emplacement, de conception, de construction, d'exploitation et de maintenance des réseaux électriques et des systèmes de télécommunications, afin de minimiser les perturbations du système de télécommunications dues au réseau électrique.

Croisement
UIT 21.24

Passage de la ligne de télécommunication d'un côté à l'autre de la ligne électrique.

Décibel

Voir à "Bel" et à "Néper" (pour la notation décibel voir paragraphe 8.3).

Démodulation
CEI 60-44-210

Opération ayant pour objet de restituer le signal modulant original à partir d'une oscillation modulée.

CEI 60-44-255

Effacement dans un récepteur radioélectrique et dont l'effet est de provoquer l'affaiblissement d'un signal faible en présence d'un autre signal.

Désignation des émissions :
CEI 60-40-005
BS 204.60003
(UIT*)

1. Les émissions sont désignées d'après leur classe et la largeur de bande nécessaire.
2. Les émissions sont classées et symbolisées d'après les caractéristiques suivantes :
 - a) Type de modulation de l'onde porteuse principale.
 - b) Type de transmission.
 - c) Caractéristiques supplémentaires.

3.1 Types de modulation de l'onde porteuse principale :

	Symbole
a) Amplitude	A
b) Fréquence (ou phase)	F

	b) Single sideband :	
	- reduced carrier	A
	- full carrier	H
	- suppressed carrier	J
	c) Two independent sidebands	B
	d) Vestigial sideband	C
	e) Pulse :	
	- amplitude modulated	D
	- width (or duration) modulated	E
	- phase (or position) modulated	F
	- code modulated	G
Classification of transmissions (cont'd) IEC 60-40-005		

Examples :

- | | |
|--|-----|
| a) Amplitude-modulated telephony, single sideband, reduced carrier | A3A |
| b) Pulse-modulated telegraphy, audio-frequencies modulating the phase (or position) of the pulse | P2F |

Note : Extensive further examples are given in the Radio Regulations I.T.U. Geneva 1959 from which the above information has been extracted. A revision of this system is contemplated by the I.T.U.

Code translation BS 204. 72317	The process of translating telegraph signals into the corresponding characters.
Coil loading BS 204. 52116	The insertion of inductors, commonly called "loading coils", in series with the line conductors at regular intervals.
Continuous loading BS 204. 52117	Loading effected by a continuous layer or wrapping of magnetic material along each conductor.
Crossing ITU 21. 24	The passage of a telecommunication line from one side of the electric line to the other.
Cross-modulation IEC 60-44-260	In a receiver, the modulating of a wanted signal by the modulation of an unwanted signal on a different carrier frequency arising from the interaction of the radio frequency signals in non-linear circuits of the receiver preceding the detector.
Crosstalk ITU 06. 29	The unwanted transfer of energy from one circuit, called the "disturbing" circuit, to another circuit, called the "disturbed" circuit.
Decibel	See "Bel" "Neper" (for decibel notation, see 8.3)
Demodulation IEC 60-44-210 IEC 60-44-255	210 : The process of reproduction of an original modulating signal from a modulated wave, i.e. the inverse of modulation. <u>Note</u> : In English, the term "demodulation" has also been used to denote an apparent reduction in the percentage depth of modulation of a received signal due to the presence of a stronger signal of the same or a slightly different frequency. (See 60-44-255) 255 : An apparent reduction in the degree of modulation of a received signal caused by the co-existence, at the detector, of an oscillation due to another signal.

	c) Impulsion	P
	3.2. Types de transmission :	
	a) Absence de toute modulation destinée à transmettre une information	0
	b) Télégraphie sans modulation par une fréquence audible	1
	c) Télégraphie par manipulation par tout ou rien d'une ou de plusieurs fréquences audibles de modulation, ou par manipulation par tout ou rien de l'émission modulée (cas particulier : émission modulée non manipulée)	2
	d) Téléphonie (y compris la radiodiffusion sonore)	3
Désignation des émissions : CEI 60-40-005 BS 204.60003 (UIT)	e) Fac-similé (avec modulation de l'onde porteuse principale, soit directement, soit par une sous-porteuse modulée en fréquence)	1
	f) Télévision (image seulement)	5
	g) Télégraphie duoplex à 4 fréquences	6
	h) Télégraphie harmonique multivoie	7
	i) Cas non envisagés ci-dessus	9
	3.3. Caractéristiques supplémentaires :	
	a) Double bande latérale	aucun
	b) Bande latérale unique :	
	- onde porteuse réduite	A
	- onde porteuse complète	H
	- onde porteuse supprimée	J
	c) Deux bandes latérales indépendantes	B
	d) Bande latérale résiduelle	C
	e) Impulsion	
	- amplitude modulée	D
	- largeur modulée	E
	- phase (ou position) modulée	F
	- modulation par impulsion codée RR Genève 1959	G

Exemples :

- | | |
|--|-----|
| a) Téléphonie en modulation d'amplitude, bande latérale unique, onde porteuse réduite | A3A |
| b) Télégraphie en modulation par impulsions, la phase ou la position des impulsions étant modulée à fréquence audible, l'oscillation à fréquence audible modulante étant manipulée par tout ou rien. | P2F |

Une liste détaillée d'exemples est donnée dans le RR Genève 1959, d'où sont extraits les deux précédents.

Note :

Une révision de ces désignations est envisagée par l'U. I. T.

Détection
CEI 60-44-200

Opération ayant pour objet d'extraire de l'information d'une onde électromagnétique.

Detection
IEC 60-44-200
IEC 60-44-205

The process of extraction of information from an electromagnetic wave.

Notes :

1. Often an asymmetrical conducting device is used.
2. The use of the term for the action of a frequency changer is deprecated.
3. Where there was no original modulating signal the use of the term "demodulation" as an alternative for "detection" is deprecated.

The process of reproducing the modulating signal from an amplitude modulated oscillation.

Digit
BS 3527.22102

An occurrence of a character.

Examples :- abracadabra contains eleven digits, but only five characters. Again, 10.00 p.m. contains ten digits but only six characters (including the space between the 0 and p).

Distortion
Waveform Distorsion
ITU 06.38
(BS 204.15017)

The unwanted change in waveform which occurs between two points in a transmission equipment or system.

Double-sideband transmission
IEC 60-06-040
(BS 204.14046)

That method of operation in which both sidebands produced by the process of modulation are transmitted equally.

Electric induction
ITU 21.01

The effect of the voltages of electric lines on neighbouring conductors.

Ensemble
BS 204.18004

A collection (e.g. of messages or signals from a given source) whose statistical properties are of interest.

Entropy

See information rate

Equivalent disturbing
voltage
BS 204.80013

In inductive co-ordination. The magnitude of the voltage at a frequency of 800 c/s which, when applied to a power line, produces the same interference in a neighbouring telecommunication line as that produced by the service voltage of the power line.

Note : The equivalent disturbing voltage of a power line may be calculated from the expression :

$$V_p = \frac{1}{P_{800}} \sqrt{\sum (k_f p_f V_f)^2}$$

where V_f is the component of frequency f of the voltage causing the disturbance.

p_f is the weight attributed to that frequency.

k_f is a factor which is a function of the frequency and takes into account the method of coupling between the lines concerned as well as the service conditions of the energised line.

Errors
BS 204.18023

Those messages or bits which as interpreted in the receiver, are not identical with the corresponding ones in the sources.

Error checking code
BS 3527.22314

A generic term covering error detecting codes and error correcting codes.

Error correcting code
BS 3527.22313

An error detecting code which uses additional code elements so that for certain errors the mutilated representation resembles more closely the original than any other valid representation. This enables these errors to be corrected. When an error occurs that the code has not been designed to correct, the "correction" may be erroneous.

Notes :

1. Un dispositif asymétrique de conduction est souvent employé.
2. L'emploi de ce terme pour désigner l'action d'un tube mélangeur est déconseillé.
3. Lorsqu'il n'y avait pas de signal initial de modulation l'emploi du terme "démodulation" au lieu de "détection" est déconseillé.

Détection
CEI 60-44-205

Opération restituant le signal modulant à partir d'une oscillation modulée en amplitude.

Déviaton de fréquence
BS 204.14032

Concerne la modulation de fréquence. C'est la valeur crête de la différence entre la fréquence instantanée de l'onde modulée et la fréquence porteuse dans un cycle de modulation.

Diaphonie
UIT 06.29

Passage indésirable d'énergie d'une voie de transmission, dite perturbatrice, à une autre voie, dite perturbée.

Distorsion
UIT 06-38
(BS 204.15017)

Déformation d'une onde au cours de sa transmission, défavorable pour son utilisation.

Distorsion harmonique :
CEI 55-10-040
(UIT 06.45)

Type de distorsion non-linéaire caractérisée par l'apparition dans la réponse à une excitation sinusoïdale, de composantes sinusoïdales dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence d'excitation.

Distorsion d'intermodulation
UIT 06.50
(BS 204.15025)

06.50: Distorsion due à l'apparition d'ondes parasites par intermodulation.

15025: Élément de la distorsion non-linéaire constitué par l'apparition, dans la réponse à des excitations sinusoïdales concomitantes, de composantes sinusoïdales (produits d'intermodulation) dont les fréquences sont la somme ou la différence des fréquences d'excitation ou de multiples entiers de ces fréquences.

Distorsion de quantification
CEI 55-35-300

Distorsion introduite par le processus de la quantification. Le signal affecté de cette distorsion peut être considéré comme résultat de la superposition, ou signal original, d'un bruit de quantification.

Distorsion de phase
BS 204.15023

Modification indésirable, avec la fréquence, du taux de variation en fonction de la fréquence de la différence de l'angle de phase entre une excitation sinusoïdale et la composante fondamentale de la réponse.

Echantillonnage (d'un signal)
CEI 55-35-305

Représentation approchée d'un signal continu par la suite de ses valeurs prises à des instants successifs en général régulièrement espacés.

Emission à bandes latérales indépendantes :
CEI 60-06-050

Emission dans laquelle chaque bande latérale correspond à un ou plusieurs signaux modulateurs distincts de ceux de l'autre bande.

Nota : Les émissions à bandes latérales indépendantes sont souvent aussi à porteuse réduite ou supprimée.

Emission à bande latérale unique
S. S. B.
CEI 60-06-045

Emission dans laquelle une seule bande latérale est émise, l'autre bande étant supprimée ou très affaiblie, les émissions à bande latérale unique sont souvent aussi à porteuse réduite ou supprimée.

Emission à double bande latérale
CEI 60-06-040
(BS 204.14046)

Emission dans laquelle les deux bandes latérales résultant d'une modulation sont émises avec des amplitudes sensiblement égales.

<p>Error-correcting telegraph code ITU 33.35* (BS 204.72316)</p>	<p>An error-detecting code incorporating sufficient additional signalling elements to enable the nature of some or all of the errors to be indicated and corrected entirely at the receiving end.</p>
<p>Error detecting code BS 3527.22312</p>	<p>A code in which each representation of a character conforms to specific rules of construction, so that for certain errors the mutilated representation corresponds to no valid character; the presence of these errors can be detected without reference to the original message.</p>
<p>Error-detecting telegraph code IEC 33.33 (BS 204.72315)</p>	<p>A telegraph code in which each telegraph signal conforms to specific rules of construction, so that departures from this construction in the received signals can be automatically detected. Such codes necessarily require more signalling elements than are required to convey the basic information.</p>
<p>Exposure ITU 21.16</p>	<p>There is an exposure between a telecommunication line and an electric line when their relative positions are such that the electromagnetic effects of the electric line in the telecommunication line are great enough to give rise to a risk of danger or interference.</p>
<p>Frequency change signalling ITU 32.30*</p>	<p>A term applicable to telegraph signalling systems in which one or more particular frequencies correspond to each desired signalling condition of a telegraph code. The transition from one set of frequencies to the other may be either a continuous or discontinuous change in frequency and may be accompanied by a change in phase.</p>
<p>Frequency deviation BS 204.14032</p>	<p>In frequency modulation. The peak difference between the instantaneous frequency of the modulated wave and the carrier frequency in a cycle of modulation.</p>
<p>Frequency-division multiplex IEC 55-15-050</p>	<p>A multiplex system in which the available transmission frequency range is divided into narrow bands, each used for a separate channel.</p>
<p>Frequency modulation F. M. BS 204.14016</p>	<p>Angle modulation of a sine-wave carrier in which the instantaneous frequency of the modulated wave differs from the carrier frequency by an amount proportional to the instantaneous value of the modulating wave.</p>
<p>Frequency swing BS 204.14033</p>	<p>In frequency modulation. The difference between the maximum and minimum values of the instantaneous frequency of the modulated wave.</p>
<p>Frequency translation BS 204.14044</p>	<p>The changing in frequency by the same amount and in the same sense of all the component frequencies in a signal.</p>
<p>Group delay ITU 04.17</p>	<p>The time of propagation between two points, of a certain point (for example, the crest) of the envelope of a wave. For a given frequency it is equal to the first derivative of the phase shift expressed in radians between these points, with reference to the angular frequency expressed in radians per second.</p>
<p>Group delay/frequency distortion (Envelope delay/frequency distortion delay/frequency distortion) BS 204.15023</p>	<p>An undesired variation, with frequency, of the rate of change with respect to frequency of the difference in phase angle between a sinusoidal excitation and the fundamental component of the response.</p>
<p>Harmonic distortion IEC 55-10-040 (ITU 06.45)</p>	<p>A form of non-linearity distortion, consisting of the production, in the response to a sinusoidal excitation, of sinusoidal components whose frequencies are integral multiples of the frequency of excitation.</p>

Ensemble BS 204.18004	Collection (par exemple des messages ou des signaux d'une source donnée) dont les propriétés statistiques sont intéressantes.
Entrelacement d'impulsion BS 204.14055	Procédé dans lequel des impulsions issues de deux sources ou plus sont multiplexées par partage du temps pour être transmises sur une voie commune.
Entropie	Voir à vitesse d'information.
Erreurs BS 204.18023	Ceux des messages ou des bits qui, traduits par le récepteur, ne sont pas identiques aux messages ou aux bits correspondants à l'émission.
Excursion de fréquence BS 204.14033	Concerne la modulation de fréquence. C'est la différence entre les valeurs maximale et minimale de la fréquence instantanée de l'onde modulée.
Facteur réducteur UIT 21.41 (BS 204.80019)	Lorsque dans le voisinage d'une ligne inductrice ou d'une ligne induite existent des circuits ou des masses conductrices dans lesquelles peuvent se développer, par induction magnétique, des courants dont les effets compensent en partie les effets directs de la ligne inductrice sur la ligne induite, on appelle facteur réducteur de ces éléments compensateurs le rapport de la force électromotrice résultante se manifestant dans ces conditions, à la force électromotrice qui se manifesterait si ces circuits ou masses conductrices n'existaient ou n'intervenaient pas.
Force électromotrice longitudinale UIT 21.30 (BS 204.80015)	21.30: Par force électromotrice longitudinale, on entend la force électromotrice induite par le champ magnétique alternatif du courant de la ligne électrique dans le circuit constitué par les conducteurs de la ligne de télécommunication et la terre. 80015: Concerne la coordination des inductions. C'est la force électromotrice induite dans un "circuit longitudinal" (UIT 11.09) par les variations du courant d'une ligne d'énergie.
Force électromotrice psophométrique : CEI 55-10-140	Dans un circuit téléphonique. La force électromotrice psophométrique est le double de la tension psophométrique qui serait mesurée aux bornes d'une résistance de 600 Ω sur laquelle serait fermé le circuit au point de mesure, soit directement, soit au travers d'un transformateur idéal adaptant à 600 Ω l'impédance image du circuit, l'extrémité émettrice du circuit étant fermée sur son impédance image.
	<u>Note :</u> La force électromotrice psophométrique permet d'exprimer quantitativement le degré de trouble qu'apporterait à une conversation téléphonique une force électromotrice perturbatrice provenant de sources extérieures.
Fréquence latérale CEI 60-06-030	Fréquence d'une composante spectrale d'une bande latérale.
Influence électrique UIT 21.01	Effet des tensions des lignes électriques sur les conducteurs voisins.
Intermodulation UIT 06.49 (BS 204.14004)	Phénomène qui prend naissance dans un système non-linéaire lorsqu'on applique à l'entrée deux ou plusieurs signaux de fréquences différentes et qui a pour effet de faire apparaître, à la sortie, des signaux parasites dont les fréquences sont respectivement égales à la somme et à la différence des fréquences des signaux incidents et de leurs harmoniques.

Impulsive interference	See impulsive noise
Impulsive noise BS 204.15005	Noise characterised by non-overlapping transient disturbances.
Independent sideband transmission IEC 60-06-050	A method of operating in which each sideband corresponds to one or more modulating signals independent of the modulating signal (s) for the other sideband. <u>Note</u> : In practice, the carrier is either partially or wholly suppressed.
Inductive co-ordination BS 204.80001	The location, design, construction, operation and maintenance of electric supply and telecommunication systems so as to minimise interference to the telecommunication system arising from the supply system.
Inductive loading	See loading
Information rate BS 204.18019	Of a source, per second or per symbol (as stated). The minimum average number of binary digits (bits) required to represent the source messages. When the source is statistically stationary, the information rate is equal, numerically, to the average magnitude of the logarithms to base 2 of the probabilities of the signs or symbols in the source ensemble. This is measured in bits per second or per symbol (as stated).
Interference IEC 60-08-025	Disturbance experienced in the reception of a wanted signal, caused by an unwanted signal or noise.
Interference (caused to telecommunication operation) ITU 21.14	Comprises : Reduction in the quality of telephone transmission ; Disturbance to signalling ; Supplementary distortion of telegraph signals ; when currents or voltages due to the electromagnetic action of an electric line are present in a telecommunication line.
Interference BS 204.15012	1. Extraneous energy which tends to interfere with the reception of desired signals. 2. This disturbance of signals which results from 1.
Intermodulation ITU 06.49 (BS 204.14004)	The modulation of the components of a complex wave by each other in a non-linear system, whereby waves are produced which have frequencies, among others, equal to the sums and differences of those of the components of the original complex wave.
Intermodulation distortion ITU 06.50 (BS 204.15025)	06.50 : Distortion due to the production of combination frequencies by intermodulation. 15025 : A constituent of non-linearity distortion consisting of the occurrence, in the response to co-existent sinusoidal excitations, of sinusoidal components (intermodulation products) whose frequencies are sums or differences of the excitation frequencies or of integral multiples of these frequencies.
Intermodulation distortion ratio ITU 06.52	The ratio, in hundredths, of the r.m.s. value of all intermodulation products to the r.m.s. value, either of one of the fundamental frequencies (the useful frequency in the case of a mixture of frequencies)
Intermodulation distortion ratio (cont'd) ITU 06.52	<u>Note</u> : In Great Britain, intermodulation distortion is expressed as the ratio of the r.m.s. voltage of one of the combination frequencies to that of one of the parent frequencies measured at the output.
Intermodulation noise BS 204.15003	Noise due to intermodulation.

<p>Intervalle unitaire : CEI 55-70-130</p>	<p>Dans un système utilisant un code à moments, ou dans un système à modulation isochrone, le plus grand intervalle de temps tel que les durées théoriques des intervalles significatifs d'une modulation ou d'une restitution télégraphique sont tous des multiples entiers de cet intervalle.</p>
<p>Liaison radioélectrique UIT 02.10 (BS 204.12008)</p>	<p>02.10: Voie de transmission réalisée au moyen d'une station radioémettrice et d'une station radioréceptrice.</p> <p>12008: Voie de transmission entre deux points, de caractéristiques données. Ce terme recouvre généralement les deux sens de transmission.</p>
<p>Ligne d'énergie BS 204.80003</p>	<p>Ensemble de conducteurs utilisés pour le transport et la distribution de l'énergie électrique.</p>
<p>Ligne équilibrée UIT 11.10</p>	<p>Ligne dont les conducteurs ont même constitution et même résistance linéique, et telle que les impédances et admittances mutuelles (avec la terre et les autres conducteurs voisins) de ces conducteurs soient égales.</p>
<p>Ligne de télécommunications BS 204.80002</p>	<p>Ensemble de conducteurs utilisés pour les télécommunications.</p>
<p>Message BS 204.18001 (BS 3527.22110)</p>	<p>Sélection ordonnée parmi les signes ou les symboles d'un ensemble convenu, ayant pour but de communiquer de l'information.</p>
<p>Micro-ondes; Ondes ultra-courtes (terme déconseillé) CEI 60-02-025</p>	<p>Ondes hertziennes de longueur assez courte pour permettre l'emploi de la technique des guides d'ondes, des cavités, etc.</p>
<p>Modulation d'amplitude BS 204.14014</p>	<p>Modulation où la caractéristique que l'on fait varier est l'amplitude de la porteuse.</p>
<p>Modulation d'angle BS 204.14015</p>	<p>Modulation où la caractéristique que l'on fait varier est l'angle de phase de l'onde porteuse.</p> <p><u>Note</u> : La modulation de fréquence et la modulation de phase sont des cas particuliers de la modulation d'angle.</p>
<p>Modulation de fréquence BS 204.14016</p>	<p>Modulation d'angle d'une onde porteuse sinusoidale pour laquelle la fréquence instantanée de l'onde modulée diffère de la fréquence de la porteuse d'une quantité proportionnelle à la valeur instantanée de l'onde modulatrice.</p>
<p>(Formation des signaux par) Modulation de fréquence (ou modulation en fréquence) UIT 32.30*</p>	<p>Système de transmission télégraphique dans lequel une ou plusieurs fréquences déterminées correspondent à chacun des états significatifs selon le code télégraphique. La transition d'une série de fréquences à l'autre peut être un changement continu, ou discontinu, de fréquences ou de phases.</p>
<p>Modulation par impulsion CEI 55-35-030</p>	<p>Modulation d'une onde porteuse (entretenue ou déjà modulée) par une suite d'impulsions.</p>
<p>Modulation d'impulsions en amplitude UIT 03-05 BS 204.14019</p>	<p>Modulation d'impulsions telle que l'onde modulatrice agit sur l'amplitude des impulsions.</p>
<p>Modulation par codage d'impulsions CEI 55-35-075</p>	<p>Modulations d'un train d'impulsions suivant un code.</p>

<p>Link ITU 02.10 BS 204.12008</p>	<p>02.10 : The channel provided by means of a radio emitter and a radio receiver.</p> <p>12008 : A communication path of specified characteristics between two points. The term ordinarily covers both directions of transmission.</p>
<p>Loading BS 204.52115</p>	<p>The addition of inductance to a line for the purpose of improving its transmission characteristics throughout a given frequency band.</p>
<p>Longitudinal circuit ITU 11.09</p>	<p>A circuit formed by one telephone wire (or by two or more telephone wires in parallel) with return through the earth or through any other conductors except those which are taken with the original wire or wires to form a metallic telephone circuit.</p>
<p>Longitudinal electromotive force ITU 21.30 BS 204.80015</p>	<p>21.30 : The electromotive force induced by the alternating magnetic field of the current in an electric line, into the circuit formed by the conductors of the telecommunication line and earth.</p> <p>80015 : In inductive co-ordination. The e. m. f. induced in a longitudinal circuit by changes of currents in a power line.</p>
<p>Message BS 204.18001 (BS 3527.22110)</p>	<p>An ordered selection from an agreed set of signs or symbols intended to communicate information.</p>
<p>Microwaves IEC 60-02-025</p>	<p>Electromagnetic waves of sufficiently short wavelength that practical use can be made of waveguide and associated cavity techniques in their transmission and reception.</p>
<p>Modulated wave IEC 60-06-020</p>	<p>A wave some characteristic of which varies in accordance with the value of a modulating wave.</p>
<p>Modulating wave IEC 60-06-015</p>	<p>A wave which causes a variation of some characteristic of the carrier.</p>
<p>Multiple modulation BS 204.14003</p>	<p>A succession of processes of modulation in which the modulated wave from one process becomes the modulating wave for the next.</p> <p><u>Note</u> : In designating multiple-modulation systems by their letter symbols, the processes are listed in the order in which the original signal encounters them.</p> <p><u>For example</u> : P. P. M. -A. M. means a system in which one or more signals are used to position modulate their respective pulse sub-carriers which are spaced in time and are used to amplitude modulate a carrier.</p>
<p>Neper ; decineper ITU 04.03</p>	<p>Transmission units expressing the ratio of two currents or two voltages (or analogous quantities in other fields such as two acoustic pressures, etc.)</p> <p>The numbers of nepers is equal to the neperian logarithm of this ratio. The decineper is one-tenth of the neper.</p> <p><u>Note</u> : If I_1 and I_2 represent two values of currents, M the number of nepers, m the number of decinepers denoting their ratio</p>

$$M = \log_e (I_1/I_2)$$

$$m = 10 \log_e (I_1/I_2)$$

Similar relations apply to voltages.

When the ratio of powers is the square of the ratio of the corresponding currents (or of voltages), the number of nepers

<p>Modulation d'impulsions en durée CEI 55-35-050</p>	<p>Modulation d'impulsions dans le temps par laquelle on fait varier la durée des impulsions.</p>
<p>Modulation d'impulsions en espacement : CEI 55-35-060</p>	<p>Modulation d'impulsions dans le temps telle qu'on fait varier l'intervalle entre les impulsions successives.</p>
<p>Modulation d'impulsions en fréquence (de répétition) : CEI 55-35-065</p>	<p>Modulation d'impulsions dans le temps par laquelle on fait varier la fréquence de répétition des impulsions.</p>
<p>Modulation d'impulsions en position CEI 55-35-055</p>	<p>Modulation d'impulsions dans le temps par laquelle on fait varier la position dans le temps des impulsions par rapport à la valeur non-modulée.</p>
<p>Modulation d'impulsions dans le temps CEI 55-35-045</p>	<p>Modulation d'impulsions telle que l'instant d'apparition d'une certaine caractéristique des impulsions est en relation déterminée avec l'instant qui lui correspond, lorsqu'il n'y a pas de modulation.</p> <p><u>Note :</u></p> <p>Il s'agit là d'un terme général qui englobe plusieurs formes de modulations telles que les modulations d'impulsions en durée et en position.</p>
<p>Modulation multiple BS 204.14003</p>	<p>Succession de procédés de modulation dans laquelle l'onde modulée de l'un des procédés devient l'onde modulatrice du suivant.</p> <p><u>Note :</u> En désignant les systèmes à modulation multiple par leurs abréviations, les procédés sont écrits dans l'ordre dans lequel le signal d'origine les rencontre. <u>Par exemple :</u> P. P. M. - AM (en anglais) représente un système dans lequel un ou plusieurs signaux servent à moduler en position les impulsions de leurs sous-porteuses respectives qui sont échelonnées dans le temps et servent à moduler en amplitude une porteuse.</p>
<p>Modulation de phase BS 204.14017</p>	<p>Modulation d'angle d'une onde porteuse sinusoidale pour laquelle la phase de l'onde modulée diffère de celle de la porteuse d'une quantité proportionnelle à la valeur instantanée de l'onde modulatrice.</p>
<p>Mot BS 3527.22108</p>	<p>Ensemble ordonné de symboles contenant au moins une signification qui comprend un nombre de caractères déterminé et constant et transporte seulement le contenu d'un message limité. Si l'on ajoute de la redondance, une partie seulement du nombre déterminé de caractères transporte l'information. Une information "oui-non" sera représentée, si elle est codée, par un Mot.</p>
<p>Multiplex à répartition en fréquence : Multiplex par partage des fréquences : CEI 55-15-050</p>	<p>Système comportant la division de la bande des fréquences transmissibles par une voie de transmission en bandes de fréquences moins larges, utilisées chacune pour constituer une voie de transmission séparée.</p>
<p>Multiplex à répartition dans le temps : Multiplex par partage du temps : CEI 55-15-055</p>	<p>Système selon lequel une voie de transmission est établie en connectant, par intermittence, généralement à intervalles réguliers et au moyen d'un système de distribution automatique, ses équipements terminaux à une voie commune.</p> <p>En dehors des durées pendant lesquelles ces connexions sont établies, la section de voie commune entre les distributeurs peut être utilisée pour établir, par roulement, d'autres voies de transmission similaires.</p>

representing the current (or voltage) ratio may be expressed by the following formula :

$$M = 1/2 \log_e (P_1 / P_2)$$

where P_1 / P_2 is the ratio of the powers.

By extension this relation between the number of nepers and the ratio of powers is sometimes applied when the ratio is not the square of the ratio of the corresponding currents (or voltages) ; to avoid confusion, such a use of the word "neper" should be accompanied by a precise statement giving in the particular case the quantities concerned (see 04.02 - Transmission units)

Noise
IEC 55-10-050

Noise is any undesired electric waves in any transmission channel or device. Cross-talk, distortion products and inter-modulation products are sometimes classed as noise.

Phase delay
ITU 04.16*
(BS 204.13008)

The phase delay in a circuit element is equal to the phase shift between its two ends (expressed in radians) divided by the angular frequency (in radians/second).

Phase modulation
Ph. M.
BS 204.14017

Angle modulation of sine-wave carrier in which the phase of the modulated wave differs from that of the carrier by an amount proportional to the instantaneous value of the modulating wave.

Pilot carrier
BS 204.14042

A low-level signal at carrier frequency transmitted for receiver-control purposes, e.g. tuning control and automatic gain control. It may be also used at the receiver, after reconditioning, for demodulation purposes.

Pilot signal
BS 204.14041

In a transmission system. A signal wave, usually a single frequency, transmitted over the system to indicate or control its characteristics.

Power line
BS 204.80003

A set of conductors used for the transmission and distribution of electrical energy.

Psophometric e. m. f.
IEC 55-10-140

In a telephone circuit. The psophometric e. m. f. is twice the psophometric voltage which would be measured across a resistance of 600 ohms closing the circuit at the point of measurement either directly or by means of an ideal transformer adapting the image impedance of the circuit to 600 ohms, the sending end of the circuit being closed by its image impedance.
Note : The psophometric e. m. f. permits the quantitative expression of the degree of interference that a disturbing e. m. f. from outside sources would have on a telephone conversation.

Psophometric power
IEC 55-10-135

The power absorbed by a resistance of 600 ohms from a source of psophometric e. m. f.

Where square law addition (power addition) of noise can be assumed, it has been found convenient for calculations and design of international circuits to use the idea of "psophometric power" as defined below :

$$\text{psophometric power} = \frac{(\text{psophometric voltage})^2}{600}$$

or

$$\text{psophometric power} = \frac{(\text{psophometric e. m. f.})^2}{4 \times 600}$$

Néper ; décinéper
UIT 04-03

Unités de transmission servant, en principe, à exprimer le rapport de deux courants, ou de deux tensions (ou de grandeurs analogues d'autres domaines, telles que deux pressions acoustiques, etc...).

Le nombre de népers est égal au logarithme népérien de ce rapport. Le décinéper correspond au dixième du néper.

Remarque :

si I_1 et I_2 représentent deux valeurs de courants, M le nombre de népers, m le nombre de décinépers correspondant à leur rapport :

$$M = \log_e (I_1/I_2)$$

$$m = 10 \log_e (I_1/I_2)$$

Des relations analogues s'appliquent au cas des tensions.

Quand on se trouve dans des conditions telles qu'un rapport de puissances est le carré du rapport des courants (ou des rapports des tensions) correspondants, le nombre de népers représentant l'écart entre les courants (ou les tensions) correspondants peut s'exprimer par la formule suivante :

$$M = 1/2 \log_e (P_1/P_2)$$

où P_1/P_2 est le rapport de puissances donné.

Par extension, cette relation entre le nombre de népers et le rapport de puissances est quelquefois appliquée quand ce rapport n'est pas le carré du rapport de courants (ou du rapport de tensions) correspondants ; pour éviter toute confusion, un tel emploi du mot "néper" devrait être accompagné d'une indication précise permettant de reconnaître quelles sont, dans le cas particulier envisagé, les grandeurs prises en considération (voir 04.02 - Unités de transmission).

Onde pilote
BS 204.14041

Dans un système de transmission. Onde, en général une fréquence pure, transmise d'une extrémité à l'autre du système pour contrôler ou commander ses caractéristiques.

Onde pilote
(à la fréquence porteuse)
BS 204.14042

Signal à bas niveau à la fréquence de la porteuse transmis à des fins de commande du récepteur, par exemple commande d'accord et commande automatique de gain. Il peut également servir dans le récepteur, après traitement, à des fins de démodulation.

Oscillation (onde) modulée
Modulat

Résultat de la modulation d'une oscillation (onde).

Oscillation (onde) porteuse ;
Porteuse ;
CEI 60-06-005

a) Oscillation (onde) destinée à être combinée à une grandeur modulante dans une modulation.
b) Dans une oscillation (onde) modulée, composante spectrale dont la fréquence est la fréquence porteuse.

Perturbations
BS 204.15012

1. Energie d'origine extérieure qui tend à interférer avec la réception des signaux désirés.
2. Perturbation des signaux résultant de 1.

Perturbations dues à la
bande latérale
BS 204.15013

1. Pour la transmission en ligne : Bruit dû à la suppression imparfaite de la bande latérale indésirable.
2. Pour la transmission par radio : Perturbation d'une transmission par radio due au chevauchement d'une bande latérale d'une transmission sur une bande de fréquences adjacentes.

A convenient unit is the micro-microwatt or picowatt (pW), and this equation can then be given as follows :

$$\text{psophometric power (in picowatts) = } \frac{(\text{psophometric e.m.f. in mV})^2}{0.0024}$$

Psophometric voltage
IEC 55-10-145

The voltage at 800 Hz at a point in a telephone system which, if it replaced the disturbing voltage, would produce the same degree of interference with a telephone conversation as the disturbing voltage.

Quantitatively the value of the voltage is defined as

$$\frac{1}{P_{800}} \sqrt{\sum (P_f V_f)^2}$$

where : V_f is the voltage component at frequency f in the disturbing voltage and P_f and P_{800} are weighting factors attributable to components at frequency f and 800 Hz respectively. The factors depend on the circuit conditions.

Pulse-amplitude modulation
P. A. M.
ITU 03.05
BS 204.14019

Amplitude modulation of a pulse carrier

Pulse carrier
BS 204.14008

A pulse train used as a carrier.

Pulse code
IEC 55-35-070

A code-form by which groups of pulses are used to express quantized values of a specific characteristic of a signal to be transmitted.

Pulse code modulation
P. C. M.
IEC 55-35-075

Modulation in accordance with a pulse code.

Pulse-duration modulation
P. D. M.
IEC 55-35-050

A form pulse-time modulation in which the duration of pulses are varied.

Pulse-frequency modulation
P. F. M.
IEC 55-35-065

A form of pulse-time modulation in which the pulse repetition rate is the characteristic varied.

Note : A more precise term for "pulse-frequency modulation" would be "pulse repetition-rate modulation".

Pulse interlacing
Pulse interleaving
BS 204.14055

A process in which pulses from two or more sources are combined in time-division multiplex for transmission over a common path.

Pulse interval modulation
IEC 55-35-060

A form of pulse time modulation in which the interval between successive pulses is varied.

Pulse modulation
P. M.
IEC 55-35-030

Modulation of a continuous wave carrier (whether already modulated or not) by means of pulses.

Pulse-position modulation
P. P. M.
IEC 55-35-055

A form of pulse time modulation in which the positions in time of pulses are varied relative to the unmodulated value.

Pulse-time modulation
P. T. M.
IEC 55-35-045

Modulation in which the time of occurrence of some characteristic of a pulse carrier is varied from the unmodulated value.

Note : This is a general term which includes several forms of modulation such as pulse-duration and pulse-position modulation.

Perturbation de caractère impulsif	Voir bruit de caractère impulsif.
Porteuse à impulsions BS 204.14008	Train d'impulsions utilisé en tant que porteuse.
Processus aléatoire BS 204.18007	Processus dont la structure présente des aspects probabilistes.
Puissance psophométrique : CEI 55-10-135	<p>Puissance dissipée dans une résistance de 600 Ω par une source de force électromotrice psophométrique.</p> <p>Dans le cas où l'on peut admettre que les bruits s'ajoutent suivant une loi quadratique (addition des puissances), on a trouvé commode pour le calcul et les projets de construction des circuits internationaux, d'employer la notion de "puissance psophométrique", définie par les formules :</p> <p>Puissance psophométrique =</p> $\frac{(\text{tension psophométrique})^2}{600}$ <p>ou</p> <p>Puissance psophométrique =</p> $\frac{(\text{force électromotrice psophométrique})^2}{4 \times 600}$ <p>Une unité commode est le micromicrowatt ou picowatt (pW), et cette relation peut donc se mettre sous la forme suivante :</p> <p>Puissance psophométrique (en picowatt) :</p> $\frac{(\text{force électromotrice psophométrique en mV})^2}{0,0024}$
Pupinisation BS 204.52116	Insertion, à intervalles réguliers, de bobines d'inductance, couramment appelées bobines Pupin, en série avec les conducteurs de la ligne.
Quantification CEI 55-35-295	Processus consistant à diviser l'ensemble des valeurs d'une variable en un nombre fixé de sous-ensembles plus petits puis à représenter chacun d'eux par une valeur contenue dans le sous-ensemble, définie une fois pour toutes et dite quantifiée.
Rapport signal (utile) sur bruit (signal brouilleur) : CEI 60-08-050	Rapport de la puissance du signal utile en un point spécifié de la voie de transmission, à la puissance du bruit (signal brouilleur) mesurée ou au même point dans des conditions de fonctionnement spécifiées.
	<u>Notes :</u>
	1) Le niveau du bruit superposé au signal utile peut différer du niveau du bruit en l'absence de tout signal utile.
	2) Ce rapport est souvent exprimé en décibels.
Rapprochement UIT 21.16	Il y a un rapprochement entre une ligne électrique et une ligne de télécommunication lorsque, en raison de la position relative de ces lignes, les effets électromagnétiques exercés par la ligne électrique sur la ligne de télécommunication sont suffisamment importants pour pouvoir engendrer des risques de danger ou de trouble.
Redondance (théorie de l'information, codage, etc.) BS 204.180020	Qualité d'une source quelconque, dont la vitesse d'information est inférieure à une valeur théorique maximale. Sa présence est due à l'existence dans les signaux de configurations qui ne sont pas en toute rigueur essentielles à la transmission de l'information correspondante. La redondance d'une source est définie comme étant la quantité de laquelle le rapport de la vitesse d'information à sa valeur théorique maximale est inférieur à l'unité ; elle est généralement exprimée en pour cent.

<p>Quantization IEC 55-35-295</p>	<p>A process in which the range of values of a wave is divided into a finite number of smaller sub-ranges, each of which is represented by an assigned or "quantized" value within the sub-range.</p>
<p>Quantization distortion IEC 55-35-300</p>	<p>The distortion introduced in the process of quantization. The distorted signal can be considered as the original signal with quantization noise added.</p>
<p>Random noise ITU 06.03 (BS 204.15004)</p>	<p>Noise due to the aggregate of a large number of elementary disturbances with random occurrence in time.</p>
<p>Redundancy (Information theory, coding, etc.) BS 204.180020</p>	<p>Redundancy is present in any source whose information rate is less than a hypothetical maximum value. Its presence is due to patterns existing in the signals which are not strictly essential for the conveyance of the corresponding information. The redundancy of a source is defined as the amount by which the ratio of the information rate to its hypothetical maximum value falls below unity, and is usually expressed as a percentage.</p>
<p>Residual voltage ITU 21.32 (BS 204.80017)</p>	<p>Of a power line, in inductive co-ordination. The vector sum of the voltages to earth of the several phase wires.</p>
<p>Sampling IEC 55-35-305</p>	<p>Of a signal, a process in which a continuous signal is approximately represented by a series of discrete values, usually regularly spaced.</p>
<p>Screening factor ITU 21.41 (BS 204.80019)</p>	<p>When there are in the vicinity of a disturbing line or a disturbed line, circuits of conducting bodies in which currents can be induced, whose effects partly compensate the direct effects of the inducing line upon the induced line, the ratio of the resultant e. m. f. appearing in these conditions to the e. m. f. which would appear if these circuits or conducting bodies were either not present or not effective, is known as the screening factor for these compensating elements.</p>
<p>Sideband IEC 60-06-025</p>	<p>The frequency band at either the upper or lower side of the carrier frequency within which fall the spectral components produced by the process of modulation. <u>Note</u> : The terms "upper sideband" or "lower sideband" are used to denote the ranges higher than or lower than the carrier frequency respectively.</p>
<p>Sideband interference BS 204.15013</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. In line transmission. Noise due to imperfect suppression of an unwanted sideband. 2. In radio transmission. The interference with a radio transmission by an overlapping sideband of a transmission on an adjacent frequency allocation.
<p>Side frequency IEC 60-06-030</p>	<p>A single frequency in a sideband.</p>
<p>Signal ITU 02.27 BS 204.18003 BS 3527.31008</p>	<p>02.27 : Aggregate of waves propagated along a transmission channel and intended to act on a receiving unit. 18003 : The physical embodiment of a message. (The message may represent data or exercise control). 31008 : A physical entity representing data or exercising control.</p>
<p>Signal-to-noise ratio Signal/noise ratio IEC 60-08-050</p>	<p>At a specified point and for specified conditions. The ratio of the power of the wanted signal to that of the co-existent noise. <u>Notes</u> : 1. The co-existent noise may differ from the noise when the input is reduced to zero.</p>

Signal UIT 02-27 BS 204.18003 BS 3527.31008	02-27 : Ensemble des ondes qui se propagent sur une voie de transmission et qui sont destinées à agir sur un organe récepteur. 18003 : Matérialisation d'un message (le message peut représenter des valeurs ou effectuer des commandes) 31008 : Entités physiques représentant des valeurs ou effectuant des commandes.
Signal (oscillation) modulant (modulante) CEI 60-06-15	Signal (oscillation) servant de grandeur modulante dans une modulation.
Sous-porteur BS 204.14007	Onde porteuse que l'on utilise pour moduler une autre onde porteuse.
Symbole BS 3527.22102	Existence d'un caractère. <u>Exemples</u> : "abracadabra" comporte onze symboles mais seulement cinq caractères. De même, 10.00 p.m. comporte dix symboles mais seulement six caractères (y compris l'espace séparant le 0 et le p).
Télégraphie harmonique Télégraphie à fréquences vocales UIT 32.37 (BS 204.72413)	Télégraphie par multiplex par partage des fréquences dans lequel les fréquences des courants porteurs sont comprises dans la gamme des fréquences vocales.
Télégraphie infra-acoustique UIT 32.53	Forme de télégraphie utilisant une bande de fréquences inférieures aux fréquences téléphoniques, par exemple, au-dessous de 300 Hz.
Télégraphie supra-acoustique UIT 32.54	Forme de télégraphie utilisant une bande de fréquences supérieures aux fréquences téléphoniques, par exemple au-dessus de 3 400 Hz.
Temps de propagation de groupe UIT 04.17	Temps que met, pour se propager entre deux emplacements déterminés, un certain point (par exemple la crête) de l'enveloppe d'un groupe de deux ondes sinusoïdales de fréquences très peu différentes. Pour une fréquence déterminée, ce temps est égal à la dérivée du déphasage total entre ces points (exprimé en radians) par rapport à la pulsation correspondant à cette fréquence.
Temps de propagation de phase UIT 04.16* (BS 204.13008)	Le temps de propagation de phase dans un élément d'un circuit est égal au déphasage entre ses deux extrémités (exprimé en radians) divisé par la pulsation (exprimée en radians par seconde).
Tension perturbatrice équivalente BS 204.80013	Concerne la coordination des inductions. C'est l'amplitude de la tension à la fréquence de 800 Hz qui, appliquée à une ligne de transport d'énergie, produit sur les lignes de télécommunications voisines les mêmes perturbations que la tension de service de la ligne de transport d'énergie. <u>Note</u> : la tension perturbatrice équivalente d'une ligne de transport d'énergie peut être calculée à partir de l'expression

$$V_p = \frac{1}{P_{800}} \sqrt{\sum (k_f p_f V_f)^2}$$

dans laquelle

V_f est la composante de fréquence f de la tension qui cause la perturbation

p_f le poids attribué à cette fréquence

k_f un facteur, fonction de la fréquence, tenant compte du mode de couplage entre les lignes intéressées ainsi que des conditions de service de la ligne d'énergie.

Single-sideband transmission S. S. B. IEC 60-06-045	2. The ratio is often expressed in decibels. A method of operation in which either the upper or lower sideband (as produced by the process of modulation) is transmitted. <u>Note</u> : In practice, the carrier is either partially or wholly suppressed.
Stochastic process BS 204.18007	A process which has some element of probability in its structure.
Sub-audio telegraphy ITU 32.53	A form of telegraphy using a frequency band below the voice frequency range, e. g. below 300 Hz.
Sub-carrier BS 204.14007	A carrier which is applied as a modulating wave to modulate another carrier.
Super-audio telegraphy ITU 32.54	A form of telegraphy using a frequency band above the voice frequency range, e. g. above 3400 Hz.
Telecommunication line BS 204.80002	A set of conductors used for telecommunication.
Thermal-agitation noise Thermal noise BS 204.15006	Random noise due to thermal agitation of electrons in a conductor.
Time-division multiplex IEC 55-15-055	A system in which a channel is established in connecting intermittently, generally at regular intervals and by means of an automatic distribution, its terminal equipment to a common channel. Outside the times during which these connections are established, the section of the common channel between the distributors can be utilised in order to establish other similar channels, in turn.
Transverse voltage ITU 21.31 (BS 204.80016)	The voltage which occurs at a point between the two conductors of a loop circuit.
Triangular random noise BS 204.15008	Random noise whose spectral distribution is such that the noise power per unit bandwidth is proportional to the square of the frequency.
Uniform spectrum random noise Flat random noise White noise BS 204.15007	Random noise whose spectral distribution between specified frequency limits is such that the noise power per unit bandwidth is independent of frequency.
Unit interval (Signal interval U. S. A.) IEC 55-70-130	In a system using an equal length code, or in a system using an isochronous modulation, the interval of time such that the theoretical durations of the significant intervals of a telegraph modulation (or restitution) are whole multiples of this interval.
Voice-frequency multi-channel telegraphy ITU 32.37 (BS 204.72413)	Telegraphy using two or more carrier currents whose frequencies are within the voice-frequency range.
White noise	See "Uniform spectrum random noise"
Word BS 3527.22108	An ordered set of digits bearing at least one meaning comprises a predetermined and constant number of characters and carries only a finite message content. If redundancy is added, only a part of the predetermined number of characters carries the message. A "yes-no" message will be represented, if coded, by a Word.

Tension psophométrique
CEI 55-10-145

Tension à 800 Hz en un point d'un système téléphonique, qui, si elle remplaçait la tension perturbatrice, produirait le même trouble dans une communication téléphonique que la tension perturbatrice.

La valeur de la tension est définie par l'expression :

$$\frac{1}{P_{800}} \sqrt{(P_f V_f)^2}$$

dans laquelle : V_f est la composante de fréquence f de la tension perturbatrice et P_f , P_{800} , des coefficients de pondération attribués aux composantes de fréquence f et 800 Hz respectivement. Ces coefficients dépendent du type de circuit.

Tension résiduelle
UIT 21.32
(BS 204.80017)

Somme vectorielle des tensions, par rapport à la terre, des différents fils de phase.

Tension transversale
UIT 21.31
(BS 204.80016)

Tension qui se manifeste entre deux conducteurs d'un circuit bifilaire de télécommunications, en un point considéré.

Traduction de code
BS 204.72317

Opération consistant à traduire des signaux télégraphiques en caractères correspondants.

Transformateur-suceur
BS 204.80021

Concerne la coordination des inductions. Transformateur placé dans un réseau de traction électrique à courant alternatif pour assurer le retour d'une grande partie du courant par les rails, ou un conducteur de retour spécialement installé à cet effet, et non pas par la terre.

Note : Les transformateurs de ce type sont quelquefois utilisés dans les réseaux de traction électrique à courant alternatif pour réduire les effets de l'induction magnétique lorsque des lignes de télécommunications sont soumises à l'induction de ces réseaux.

Transmodulation (dans un récepteur radioélectrique) :
CEI 60-44-260

Modulation du signal utile appliqué à l'entrée d'un récepteur radioélectrique par le signal modulant d'une émission indésirable à fréquence porteuse différente, due à la non-linéarité des étages précédant le détecteur.

Transposition de fréquence
BS 204.14044

Déplacement de fréquence de la même quantité et dans le même sens de toutes les fréquences composant un signal.

Troubles (apportés à l'exploitation des télécommunications).
UIT 21.14.

- La réduction de la qualité de la transmission téléphonique,
- les perturbations de la signalisation,
- les distorsions supplémentaires des signaux télégraphiques,
qui résultent de la présence sur une ligne de télécommunication de tensions ou de courants parasites dus à l'action électromagnétique d'une ligne électrique.

Vitesse d'information
BS 204.18019

D'une source, par seconde ou par symbole (suivant conventions). Nombre moyen minimal de symboles binaires (bits) nécessaires pour représenter les messages de la source. Lorsque la source est statistiquement stationnaire, la vitesse d'information est égale, numériquement, à la valeur moyenne des logarithmes à base 2 des probabilités des signes ou symboles dans l'ensemble de la source. Elle est mesurée en bits par seconde ou par symbole (suivant conventions).

Voie de communication (télégraphique)
(bilatérale)
UIT 32.02

Ensemble de deux voies de transmission associées pour assurer, entre les mêmes points, une transmission bilatérale de signaux télégraphiques.

Voie de transmission
(télégraphique) :
UIT 32.01

Ensemble des milieux et organes intervenant dans la transmission des signaux télégraphiques dans un sens déterminé, entre deux postes extrêmes, ou, par extension, entre deux points intermédiaires où se trouvent des installations télégraphiques. Ensemble des moyens nécessaires pour assurer une transmission de signaux télégraphiques dans un sens déterminé. (Voir également 8.5.2. pour l'application des termes tels qu'ils sont employés dans le rapport).

8.3 - DIFFERENTES NOTATIONS DU NIVEAU EN dB (Np) UTILISEES DANS LES TELECOMMUNICATIONS

(Pour les définitions, voir "Bel" et "Néper" à la Section 8.2).

dB (Np)

$$x\text{dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

$$x\text{Np} = 1/2 \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{voir note})$$

Le nombre de décibels est égal à 10 fois le logarithme à base 10 du rapport des puissances.

(Voir UIT terme 04-04)

dBm (Npm)

$$x \text{ dBm} = 10 \log \frac{P}{1\text{mW}}$$

$$x \text{ Npm} = 1/2 \ln \frac{P}{1\text{mW}}$$

Le terme x dBm est utilisé pour désigner un niveau de puissance de x dB par rapport à 1 milliwatt (1 mW) c'est-à-dire un niveau de puissance absolu.

dBr (Npr)

$$x \text{ dBr} = 10 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}}$$

$$x \text{ Npr} = 1/2 \ln \frac{P}{P_{\text{ref}}}$$

Le terme x dBr est utilisé pour désigner un niveau de puissance relatif de x dB, rapporté à un "point de niveau relatif zéro". Ainsi, on mesurera un niveau de puissance de x dB en un point de niveau x dBr lorsqu'un signal d'essai de 1 mW est appliqué à une voie du système en un point de niveau relatif zéro. (Voir UIT, terme 04.08).

dBmO (NpmO)

Le terme x dBmO est utilisé pour désigner un niveau de puissance inférieur de x dB à 1 mW en un point de niveau relatif zéro, c'est-à-dire de x dB inférieur au niveau d'essai normal de la voie, en tout point du système.

dBmop (Npmop)

Ce terme est utilisé pour désigner un niveau mesuré à l'aide d'un appareil psophométrique au lieu d'un instrument ayant une courbe de réponse en fréquence plate. Divers types de psophomètres sont couramment utilisés mais cela n'amène pas de différence sensible dans les résultats de mesures effectuées sur des voies à courants porteurs de largeur de bande restreinte.

Note :

$$\ln = \log_e = \log h$$

8.3 - DIFFERENT LEVEL NOTATIONS IN dB (Np) USED IN TELECOMMUNICATIONS

(For definitions see "Bel" and "Neper", Section 8.2.).

$$\begin{aligned} \underline{\text{dB (Np)}} \quad \quad \quad \text{x dB} &= 10 \log \frac{P_1}{P_2} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{x Np} &= 1/2 \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \quad \quad \text{(See note below)} \end{aligned}$$

The number of decibels is equal to ten times the logarithm to the base ten of the power ratio.
(See ITU term 04.04).

$$\begin{aligned} \underline{\text{dBm (Npm)}} \quad \quad \quad \text{x dBm} &= 10 \log \frac{P}{1 \text{ mW}} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{x Npm} &= 1/2 \ln \frac{P}{1 \text{ mW}} \end{aligned}$$

The term x dBm is used to mean a power level of x dB relative to one milliwatt (1 mW), i. e. absolute power level.

$$\begin{aligned} \underline{\text{dBr (Npr)}} \quad \quad \quad \text{x dBr} &= 10 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{x Npr} &= 1/2 \ln \frac{P}{P_{\text{ref}}} \end{aligned}$$

The term x dBr is used to mean a relative power level of x dB referred to a "point of zero relative level". Thus a power level of x dB will be measured at a x dBr point if a 1 mW test signal is injected into one channel of the system at a point of zero relative level.
(See ITU term 04.08).

dBmO (NpmO)

The term x dBmO is used to mean a power level of x dB below 1 mW at a point of zero relative level, i. e. x dB below normal channel test level at any point in the system.

dBmop (Npmop)

This term is used to indicate a level measured with a psophometric instrument instead of an instrument with flat frequency response. There are various types of psophometers in use, but for measurement of PLC-channels with restricted bandwidth there will be no significant differences of the indications.

Note : $\ln = \log_e = \log h$

8.4 - LISTE DES GLOSSAIRES ET DES NORMES DONT DES DEFINITIONS ONT ETE EXTRAITES, OU QUI ONT TRAIT A L'OBJET DE CE RAPPORT

8.4.1 - Protection

- (a) Vocabulaire Electrotechnique International,
Groupe 05 - Définitions fondamentales.
- (b) Vocabulaire Electrotechnique International,
Groupe 10 - Machines et Transformateurs.
- (c) Vocabulaire Electrotechnique International,
Groupe 16 - Relais de protection
(Publiés par le Bureau Central de la C.E.I.,
1 rue de Varembe, Genève).

(Publications 50 (05), 50 (10) et 50 (16)
deuxième édition 1956).
- (d) Norme américaine pour les relais et dispositifs à relais associés à l'appareillage d'énergie électrique.
USAS C 37 - 1 - 1962 - United States of America Standards Institution, 10 East 40th Street, New York, New York 10016.

8.4.2 - Télécommunications

- (a) Vocabulaire Electrotechnique International
Groupe 55 - Télégraphie et Téléphonie.
- (b) Vocabulaire Electrotechnique International
Groupe 60 - Radiocommunications
(Publications : Groupe 55, deuxième édition 1969 ;
50 (60) deuxième édition 1967).
- (c) Répertoire des définitions des termes essentiels utilisés dans le domaine des Télécommunications. Partie 1 : Termes généraux, Téléphonie, Télégraphie (1961) et 1er supplément à la Partie 1 (Union Internationale des Télécommunications, place des Nations, Genève).
- (d) Glossaire des termes utilisés dans les domaines des télécommunications et de l'électrotechnique. British Standard BS 204/1960 (British Standards Institution, 2 Park Street, London W. 1).
- (e) Glossaire des termes utilisés dans le domaine du traitement automatique de données.
British Standard BS 3527/1962.
- (f) Projet de Norme allemande DIN 44300.
- (g) Vocabulaire, transmission en ligne C.C.I.T.T. (U.I.T. Genève 1959) (contient les équivalents en anglais, français, espagnol, russe, allemand, italien, néerlandais, polonais, portugais et suédois des termes concernant les télécommunications).
- (h) Amendements au BS 204/1960 ; PD 4694
novembre 1962, PD 5134 janvier 1964, PD 5995 janvier 1967.
- (i) BS 204/1960 - Supplément n° 1 : 1964 Termes utilisés dans le domaine de la radiodiffusion par fils et les relais de radiodiffusion.

Supplément n° 2 : 1965 Semi-conducteurs et dispositifs à semi-conducteurs.

8.5 - LISTE DES TERMES EXPLICATIFS

Au cours de l'élaboration de ce rapport et de façon à assurer au lecteur une meilleure compréhension des différents termes utilisés, la nécessité est apparue d'inclure une liste explicative de certains termes qui ne figurent pas dans les définitions classiques énumérées aux paragraphes 8.1 et 8.2.

8.4 - LIST OF GLOSSARIES AND STANDARDS FROM WHICH DEFINITIONS OF TERMS HAVE BEEN TAKEN OR ARE RELEVANT TO THE REPORT

8.4.1 - Protection

- (a) International Electrotechnical Vocabulary Group 05
Fundamental Definitions
- (b) International Electrotechnical Vocabulary Group 10
Machines and Transformers
- (c) International Electrotechnical Vocabulary Group 16
Protective Relays

(Published by Central Office of I. E. C.,
1, rue de Varembe, Geneva).
(Publications 50(05), 50(10) and 50(16) 2nd edition 1956)
- (d) American Standard for Relays and Relay Systems associated with Electric Power Apparatus.
USAS. C 37, 1-1962 - United States of America Standards Institution, 10 East 40th Street,
New York, New York 10016.

8.4.2 - Telecommunication

- (a) International Electrotechnical Vocabulary Group 55
Telegraphy and Telephony
- (b) International Electrotechnical Vocabulary Group 60
Radiocommunications

(Publications Group 55, 2nd edition 1969 ; 50(60) 2nd edition 1967)
- (c) List of definitions of essential telecommunication terms, Part I General Terms, Tele-
graphy (1961) and 1st supplement to Part I (International Telecommunications Union,
place des Nations, Geneva).
- (d) Glossary of terms used in Telecommunication and Electronics
British Standard BS 204/1960 (British Standards Institution,
2, Park Street, London, W.1.)
- (e) Glossary of terms used in Automatic Data Processing
British Standard BS 3527/1962.
- (f) Draft German Standard DIN 44300.
- (g) Vocabulary, line transmission, C. C. I. T. T. (I. T. U. Geneva 1959) (contains English, French,
Spanish, Russian, German, Italian, Dutch, Polish, Portugese and Swedish equivalents for
telecommunication terms).
- (h) Amendments to BS 204/1960 ; PD 4694 November 1962, PD 5134
January 1964, PD 5995 January 1967.
- (i) BS 204/1960 Supplement No. 1 : 1964 Terms used in wire broadcast and broadcast relay
Supplement No. 2 : 1965 Semiconductors and semiconductor devices.

8.5. - LIST OF EXPLANATORY TERMS

In the preparation of the report and so as to ensure a better understanding of various terms by the reader, it has been felt necessary to include a list explaining certain terms which are not found in the standard definitions listed in Sections 8.1 and 8.2. It is particular-

Il est à remarquer que l'insertion de cette liste de termes explicatifs n'implique nullement que ces derniers sont ou doivent être considérés comme des définitions classiques.

De ces termes, il n'est donné ici que le sens correspondant à leur utilisation dans ce rapport.

8.5.1 - Termes explicatifs - Protection

Accélération	Terme utilisé pour décrire le fait de rendre plus rapide le fonctionnement d'un relais de distance qui, autrement, serait temporisé. Ceci implique généralement une coopération entre relais des extrémités de la ligne.
Buchholz (relais à gaz ou de pression)	Relais du type utilisé pour la protection des enroulements immergés dans l'huile, et en particulier des transformateurs, dont le fonctionnement résulte d'une accumulation de gaz, d'un accroissement brusque de la pression du gaz ou du mouvement de l'huile qui accompagnent un défaut interne à la cuve.
Défaut extérieur	Défaut se trouvant à l'extérieur de la zone de protection définie.
Défaut intérieur	Défaut se trouvant à l'intérieur de la zone de protection définie.
Equilibre de courant	Système différentiel de protection, dans lequel les grandeurs secondaires comparées sont sous forme de courants.
Equilibre de tension	Système différentiel de protection dans lequel les grandeurs secondaires comparées sont sous forme de tensions.
Instantané	Se dit de toute action, par exemple le fonctionnement d'un relais, dans laquelle aucun retard intentionnel n'est introduit (voir C. E. I. 16 - 20 - 105).
Lignes à extrémités multiples (voir "ligne en T" et "piquage")	Ligne (ou ouvrage d'un réseau) possédant plus de deux extrémités.
Ligne en T	Configuration d'un ouvrage à extrémités multiples dont chaque extrémité au niveau de tension de l'ouvrage est munie d'un disjoncteur.
Mise en route par variation brusque	Procédé de mise en route d'une protection utilisant des relais tels que ceux définis en C. E. I. 16 - 15 - 030 qui répondent à un accroissement brusque, et d'amplitude donnée, de la grandeur d'influence et qui n'agissent que pendant un court instant.
Ordre (de téléprotection)	Signal simple, envoyé par les relais d'une extrémité d'une ligne à ceux de l'autre extrémité afin d'effectuer une action conjointe.
Ordre de déclenchement	Signal tel que défini ci-dessus, qui transmet la nécessité d'un déclenchement.
Ordre de verrouillage	Signal tel que défini ci-dessus, qui transmet la nécessité de ne pas déclencher.
Piquage	Configuration d'un ouvrage à extrémités multiples, où un certain nombre d'extrémités alimentent des transformateurs qui ne comportent de disjoncteur que du côté basse tension.
Point de mesure	Emplacement, sur un réseau d'énergie, où se trouvent les moyens pour fournir de l'information, par exemple transformateurs de courant ou de tension, ainsi que les relais auxquels cette information est fournie.

ly emphasised that the inclusion of the following list of explanatory terms is not intended to imply that they are or should be taken as standard definitions. The sense of the terms given is merely that applicable to the use of the terms in this report.

8.5.1 - Explanatory Terms - Protection

Absolutely selective protection	A protection as per IEC 16-45-035 which responds only to faults within its own zone, which is generally precisely defined.
Acceleration	A term applied to describe the action of speeding up the operation of a distance relay which would otherwise be time delayed. This generally requires co-operation between the relays at each end of the line.
Blocking command	A signal as above which conveys a requirement "not to trip"
Buchholz (gas and/or pressure relay)	Relays of the type used in the protection of windings immersed in oil, notably transformers, in which operation is caused by either the accumulation of gas, sudden increase of gas pressure or oil movement, resulting from a fault within the enclosure.
Current balance	A differential system of protection in which the secondary quantities compared are in the form of currents.
Directional blocking	A relaying principle in which the "outward" flow of fault current at one end of a circuit is arranged to block the tripping action of a relay at the other end which sees the "inward" flow of fault current.
External fault	A fault outside the defined zone of protection.
High impedance relay	A single input relay having a high input impedance such that, when fed from a current transformer, the secondary current is substantially different to that obtained using the transformation ratio. Such relays are frequently used in differential systems of protection.
Impulse starting	A method of initiating protection using relays such as those defined in IEC 16-15-030 which respond to a sudden increase of the input quantity by a given amount, the action being effective for a short time only.
Instantaneous	Describing an action, e. g. operation of a relay in which there is no intentional time delay, see IEC 16-20-105.
Internal fault	A fault within the defined zone of protection.
Multi-ended circuits (see teed and tapped)	A circuit (or component part of a power system) having more than two terminals.
Protection command	A simple signal sent from the relays at one end of a circuit to those at the other end in order to achieve a co-operative function.
Relatively selective - non-unit	A characteristic of a protection as defined in IEC 16-45-035 in which a protected zone is not exactly defined.
Relaying position, point	A location on a power system equipped with means for deriving information, e. g. current and/or voltage transformers, and relay equipment to which this information is supplied. <u>Note</u> : IEC 16-45-010 "Point of connection" is rather similar.

	<u>Note</u> - Comparable au "point de raccordement" C.E.I. 16 - 45 - 10.
Protection sélective indépendante	Protection telle que définie en C.E.I. 16 - 45 - 035, qui ne répond qu'à des défauts situés dans sa zone, dont les limites sont en général définies avec précision.
Régime instable	Etat d'un réseau d'énergie dans lequel les limites de stabilité sont dépassées.
Relais à haute impédance	Relais à une seule entrée présentant une impédance d'entrée élevée de sorte que lorsqu'il est alimenté par un transformateur de courant, le courant secondaire diffère sensiblement de celui que donnerait le rapport de transformation. De tels relais sont fréquemment utilisés dans les systèmes différentiels de protection.
Sélectivité dépendante	Caractéristique d'une protection, telle que définie en C.E.I. 16 - 45 - 035, dans laquelle la zone protégée n'est pas définie avec exactitude.
Sommation	Principe de combinaison d'un certain nombre de signaux, dans un système polyphasé, en vue de produire un signal représentatif unique.
Télédéclenchement	Transmission d'un ordre de déclenchement sur une distance notable à partir d'un point commandeur, tel qu'un point de raccordement, pour effectuer un déclenchement volontaire extérieur à l'ouvrage dans lequel la protection a fonctionné. Ce déclenchement n'est pas lié aux conditions immédiates du défaut, mais aux conséquences qui en résultent.
Téléprotection	Protection d'un ouvrage dont les extrémités sont géographiquement séparées, par exemple lignes ou câbles, et dans laquelle un fonctionnement coordonné entre les points de raccordement est obtenu par la transmission à distance d'informations par les techniques des télécommunications.
Verrouillage directionnel	Principe de mise en oeuvre des relais dans lequel on fait en sorte que le flux "sortant" de courant de défaut, à une extrémité de ligne, verrouille l'ordre de déclenchement donné par un relais de l'autre extrémité qui constate un flux "entrant" de courant de défaut.

8.5.2 - Termes explicatifs - Télécommunications

Nomenclature des bandes.

La nomenclature des bandes de fréquences radio recommandée par le C.C.I.R. répartit le spectre comme suit :

<u>Numéro de la bande</u>	<u>Gamme de fréquences</u>	<u>Désignation</u>
4	3 - 30 kHz	Ondes myriamétriques
5	30 - 300 kHz	Ondes kilométriques
6	300 - 3000 kHz	Ondes hectométriques
7	3 - 30 MHz	Ondes décamétriques
8	30 - 300 MHz	Ondes métriques
9	300 - 3000 MHz	Ondes décimétriques
10	3 - 30 GHz	Ondes centimétriques
11	30 - 300 GHz	Ondes millimétriques
12	300 - 3000 GHz	Ondes décimillimétriques
k = kilo (10 ³)	M = Méga (10 ⁶)	G = Giga (10 ⁹)

Summation	The principle of a combination of a number of signals in a polyphase system to produce one representative signal.
System instability	The condition of a power system when the stability limits are exceeded.
Tapped circuits	A multi-ended circuit in which a number of the terminations comprise transformers with circuit-breakers only on the lower voltage side.
Teed circuits	A multi-ended circuit controlled by circuit-breakers at each end, at the same system voltage.
Teleprotection	Protection of a circuit the ends of which are geographically separate, e.g. lines and cables, in which co-operation is obtained between the two relaying points by the transmission of information over the distance by telecommunication techniques.
Teletripping	The action of transmitting a tripping command over considerable distances from an initiating point, e.g. a relaying point, to achieve a desired disconnection remote from the circuit for which the protection has operated. Such disconnection is concerned not with the immediate fault condition but with the results arising from it.
Tripping command	A signal as above which conveys a requirement to "trip".
Unit protection	See "Absolutely selective protection".
Voltage balance	A differential system of protection in which the secondary quantities compared are in the form of voltages.

8.5.2 - Explanatory terms - Telecommunication

Band nomenclature

Radio frequency band nomenclature recommended by C. C. I. R. subdivides the spectrum as follows :

<u>Band No.</u>	<u>Frequency</u>	<u>Name</u>
4	3 - 30 kHz	Very low frequency
5	30 - 300 kHz	Low frequency
6	300 - 3000 kHz	Medium frequency
7	3 - 30 MHz	High frequency
8	30 - 300 MHz	Very high frequency
9	300 - 3000 MHz	Ultra high frequency
10	3 - 30 GHz	Super high frequency
11	30 - 300 GHz	Extremely high frequency
12	300 - 3000 GHz	

k = kilo (10^3) M = Mega (10^6) G = Giga (10^9)

Les bandes 8, 9, 10 et 11 sont souvent subdivisées et l'on utilise des lettres d'identification (bande S, bande X etc...). Toutefois il n'y a pas de nomenclature normalisée, chaque organisation ayant ses propres définitions (Cf : Constant and Martin, Radiation Hazards Program. IEEE Trans. on R.F.I., Vol RFI - 5 N° 1 March 1963 pp 56 - 76).

Une nomenclature courante est la suivante :

<u>Bande</u>	<u>Longueur d'onde</u>
L	25 cm
S	10 cm
C	6 cm
J	4,5 cm
H	3,5 cm
X	3 cm
J ou Ku	2 cm
K	1,2 cm
Q	8 mm
V	6 mm
O	4 mm

(Cf : Hand book of Electronic Instruments and Measurement Techniques by Thomas Clarke, Prentice - Hall p. 263).

Canal	Moyen pour assurer la transmission unilatérale d'un signal. Une utilisation quelconque peut lui être associée, par exemple canal de téléprotection, de télémessure, de télécommande, téléphonique etc... Un CANAL est une voie, ou une association de voies pour la transmission de SIGNAUX entre une origine et un aboutissement. Il comprend non seulement le milieu de transmission mais aussi l'appareillage nécessaire qui lui est associé. Il est caractérisé par des propriétés électriques globales données, telles que largeur de bande, retard, distorsion de phase, atténuation etc... Des canaux distincts peuvent avoir certains éléments en commun (p. ex liaison à courants porteurs ou liaison radio) et peuvent emprunter le même trajet (la même ligne aérienne ou le même câble).
Capacité de transmission (voir également "Baud")	Nombre de symboles binaires transmis par unité de temps (1 baud = 1 bit/s).
Défaillance	Perte de l'aptitude d'un canal à assurer la fonction qui lui est dévolue. Une défaillance peut se manifester, soudainement ou graduellement. Elle peut être temporaire ou définitive selon les modifications affectant les caractéristiques du canal. Ces modifications peuvent intéresser aussi bien l'appareillage que la voie de transmission.
Itinéraire	Voie, ou somme des voies, comprenant tous les moyens de télécommunications empruntés par un signal depuis une "Source" d'information jusqu'à son "aboutissement" à l'extrémité éloignée. (p. ex. depuis une fermeture de contact à une extrémité jusqu'à un contact à fermer à l'autre extrémité).
Liaison	Ensemble des moyens de transmission unilatérale ou bilatérale entre deux points (extrémités). Ceci comprend le milieu de transmission et l'appareillage nécessaire qui lui est associé. (p. ex. liaison à courants porteurs (CPL) ou faisceau hertzien). Une liaison peut servir de support à un ou plusieurs canaux, dans un sens ou dans les deux sens. Des canaux peuvent parfois être acheminés par plusieurs liaisons en série. Les canaux ne se terminent pas nécessairement aux extrémités des liaisons.

Bands 8, 9, 10 and 11 are often subdivided and identifying letters ("S-band", "X-band" etc.) are used. However, no standardised nomenclature is used, different organisations having their own definitions. (See Constant and Martin, Radiation Hazards Program, I. E. E. E. Trans. on R.F.I., Vol. RFI-5, No. 1, March 1963, pp. 56-76).

A typical nomenclature is as follows :

<u>Band</u>	<u>Wavelength</u>
L	25 cm
S	10 cm
C	6 cm
J	4.5 cm
H	3.5 cm
X	3 cm
J or Ku	2 cm
K	1.2 cm
Q	8 mm
V	6 mm
O	4 mm

(See Handbook of Electronic Instruments and Measurement Techniques by Thomas Clarke, Prentice-Hall, p, 263.)

Block modulation	Usually refers to 100 % amplitude modulation of a continuous wave carrier by a square wave modulating signal.
Channel	A means of one-way transmission of a signal. All types of use may be specified as such, i.e. teleprotection, telemetering, telecommand, voice channel etc. A CHANNEL is a path or aggregate of related paths for carrying SIGNALS between a source and a destination. It includes not only the transmission media but also the intervening apparatus involved. It is characterised by specific overall electrical properties such as bandwidth, time delay, phase distortion, attenuation, etc. Separate channels may have common constituent parts (e.g. carrier or radio links) and may share a common path (e.g. the same overhead wire or same cable).
Failure	The loss of the ability of a channel to perform its required function. A failure may be sudden or gradual in its onset ; it may be transitory or persistent due to variations in the characteristics of the channel. Such variations may be in the equipment and/or in the path.
Information link	This term as used in this report in this generalised form does not necessarily mean only a point-to-point communication means, but any possible means to communicate.
Link	The assembly of the means of one-way or two-way communication between two points (terminals). This includes the transmission media and the intervening apparatus involved (e.g. a power line carrier (PLC) link, a microwave link). A link may carry one or several channels in one or both directions. Channels may sometimes be routed over several links in series. Channels do not necessarily terminate at the terminals of the link(s).

Liaison de téléinformation	Ce terme, tel qu'il est utilisé dans le rapport sous sa forme générale, ne désigne pas nécessairement les seuls moyens de communication de point à point, mais tout moyen de communication convenable.
Modulation par découpage	Terme qui s'applique en général à la modulation en amplitude à 100 % d'une porteuse par un signal modulant rectangulaire.
Pilote (fils pilotes, canal pilote)	Ces termes, consacrées par l'usage, sont souvent utilisés pour qualifier des canaux de téléprotection, acheminés par lignes aériennes ou par câbles. Ces expressions sont donc utilisées dans le rapport, bien que la définition que donne l'U.I. T. d'un pilote corresponde à une notion totalement différente (voir "onde pilote").
Probabilité d'un retard excessif	Probabilité admissible pour que, lorsque la protection requiert l'envoi d'un message, le retard dépasse le retard maximal admissible. Son importance est grande lorsque la voie de télécommunications est partagée avec d'autres utilisateurs.
Probabilité pour qu'une erreur ne soit pas détectée	Rapport du nombre des symboles binaires erronés qui apparaissent sans être détectés à la sortie du système, au nombre total des symboles binaires transmis.
Redondance (en rapport avec la sécurité de fonctionnement)	Existence, dans un dispositif, de plusieurs moyens d'accomplir une fonction définie, lorsque l'on admet qu'un nombre maximal donné de ces moyens puissent être défectueux avant que le dispositif ne soit défectueux.
Retard maximal admissible	Le plus long délai d'attente, dû à une interruption des télécommunications, qui permette encore d'effectuer en temps utile le dernier acte du cycle décision - action de la téléprotection.
Sécurité Système de sécurité	Le terme de "sécurité" s'emploie à propos de règles ou de règlements impliquant une notion de sûreté. Il est en rapport avec les problèmes de protection des personnes contre le danger d'accidents. Toutefois, le terme "Système de Sécurité" est employé dans ce Rapport (3.1.1.2.) pour qualifier à la fois "l'aptitude à supporter des actions parasites" et "l'aptitude à exécuter l'action désirée lorsque cela est nécessaire".
Sécurité de fonctionnement	Aptitude d'un système de téléprotection à remplir une fonction requise (cette fonction requise peut être un ordre de déclenchement, de verrouillage, ou de ne pas agir) dans des conditions données et pour une période donnée. Elle s'exprime par la probabilité statistique d'y parvenir dans une période de temps donnée. La sécurité de fonctionnement dépend des propriétés du matériel, aussi bien de protection que de télécommunications, ainsi que des influences extérieures telles que le bruit.
Temps de propagation (ou retard)	S'exprime en μ s ou en ms. C'est le temps de propagation lors de la transmission d'un signal à travers un ou plusieurs milieux de transmission ainsi que les quadripôles passifs ou actifs associés (filtres, amplificateurs etc...), mesuré entre les bornes d'entrée et de sortie du système. Le retard global est la somme des retards individuels de tous les éléments impliqués au cours de l'acheminement. Le retard dû à la voie dépend des propriétés du milieu de transmission et de la longueur de la voie.

Maximum permissible delay	The longest hold-up due to interruption of telecommunication which will still permit the final action in the teleprotective decision-action cycle to be effected in time still to be useful.
Pilot wires, pilot channels, pilots	These terms, being historically founded, are often used for teleprotection channels, routed over open wire circuits or cables. These expressions are, therefore, used in the report despite the fact that "pilot" as defined by I. T. U. has a completely different meaning. (See "pilot carrier" below).
Probability of an undetected error	The ratio of the number of bits in error at the out put of the system that appear undetected to the total number of transmitted bits.
Probability of excessive time delay	The permissible probability that when the protection system requires a message to be sent the delay will exceed the maximum permissible delay. Of importance when the telecommunication link is shared between different users.
Propagation time or time delay	Expressed in μ s or ms. Propagation time due to transmission of a signal through one or several transmission media and the adjacent passive and active four-terminal networks (filters, amplifiers etc.) measured between input and output terminals of that system. The overall time delay is the sum of the individual time delays of all parts involved in the route. The time delay of the path depends on the properties of the transmission medium and the length of the path. The time delay of the equipment depends on its specific properties like the number, type and bandwidth of filters, etc.
Propagation velocity	Expressed in km/s for the transmission media such as free space, open wires, cables, etc.
Redundancy (Reliability of systems)	The existence within an item of more than one means of performing a given function where a stated maximum number of the means must fail before the item fails.
Reliability	The ability of a teleprotection system to perform a required function (a "required function" may be a command to trip, a command to block or no action) under stated conditions for a stated period of time. It is expressed by the statistical probability of this being achieved correctly over a given period of time. The reliability depends on the properties of both the protection and telecommunication equipment and the external influences such as noise.
Route	The path or sum of paths including all means of communication taken by a channel from the "source" to the "destination" (or "sink") of information at the distant end e.g. from a closing contact in one terminal to a contact to be closed in the other, remote terminal).
Security "Secure System"	"Security" is used in conjunction with safety rules and regulations. It involves the problems of protection of humans from accidental dangers. However, the term "secure system" is used in this report (3.1.1.2) to indicate both the property of "ability to withstand spurious operation" and "the ability to execute the wanted action when it is required".

Le retard dû aux équipements dépend de leurs propriétés spécifiques telles que le nombre, le type et la largeur de bande des filtres etc...

Vitesse de propagation

S'exprime en km/s pour des milieux de transmission tels que l'espace, les lignes aériennes, les câbles etc...

Vitesse de transmission

Nombre de mots transmis par unité de temps. S'il est nécessaire que la redondance d'un mot soit élevée, son contenu informationnel sera faible, et, simultanément ou non, le mot sera composé de nombreux caractères. Une grande longueur des mots abaisse la vitesse de transmission pour une largeur de bande donnée, ou exige une largeur de bande plus grande pour une vitesse de transmission donnée.

Transmission capacity
(See also Baud)

The number of bits transmitted per unit time. (1 baud = 1 bit/second.)

Transmission rate

The number of words transmitted per unit of time. If the redundancy of a work has to be high, its message content will be low and/or the word will be composed of many characters. A high word length lowers the transmission rate for a given bandwidth or calls for wider bandwidths for a given transmission rate.

9. – BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie contient un choix d'ouvrages ou d'articles ayant trait au sujet de ce Rapport. Elle est divisée en deux parties principales : 9.1 traitant des protections et 9.2 traitant des télécommunications. Les subdivisions de ces deux parties sont les suivantes :

9.1 - Protections

9.1.1 - Généralités

9.2 - Télécommunications

9.2.1 - Généralités

9.2.2 - Systèmes à courants porteurs et CPL.

9.2.3 - Transmission de données, théorie de l'information, Transmission BF.

9.2.4 - Induction, transitoires, perturbations et protection des circuits de télécommunications.

9.2.5 - Systèmes radio et micro-ondes.

9.2.6 - Sécurité de fonctionnement.

9.2.7 - Propagation des ondes sur les lignes.

9. – BIBLIOGRAPHY

The bibliography contains a selection of references to relevant books and published papers. It is divided into two main parts : 9.1 dealing with protection, and with telecommunication respectively. These parts are subdivided as follows :

9.1 - Protection

9.1.1 - General

9.2 - Telecommunication

9.2.1 - General

9.2.2 - Carrier and P.L.C. systems.

9.2.3 - Data transmission, information theory, A.F. transmission.

9.2.4 - Induction, transients, interference and communication line protection.

9.2.5 - Radio and microwave systems.

9.2.6 - Reliability.

9.2.7 - Wave propagation in lines.

9.1 - PROTECTION9.1.1. - General*Généralités*

Adamson, C., & Wedepohl, L.M.

"A dual-comparator mho-type distance relay utilising transistors,"
Proc. I.E.E., 1956, 103, pp.509-517.

Adamson, C., & Wedepohl, L.M.

"Power system protection with particular reference to the application
of junction transistors to distance relays",
Proc. I.E.E., 1956, 103A, pp.379-388.

Austin, H.C.

"Power Co-ordination and Recovery"
Proc. American Power Conf., Vol. 28, pp.87-90 (1966).

Barnes, H.C., & MacPherson, R.H.

"Field experience - electronic mho distance relay".
Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs., 1953, 72, pt.III, p.857.

Birch, F.H., Burrows, G.H., & Turner, H.J.

"Investigations into transient overvoltages on secondary wiring at
E.H.V. switching stations". *"Recherches relatives aux surtensions transitoires dans la filerie
secondaire des postes à T.H.T."*
CIGRE N° 31-04, Part II, 1968.

Bråten, J.L., & Hoel, H.

"A new high-speed distance relay". *"Un nouveau relais de distance à grande vitesse"*.
CIGRE, N° 307, 1950.

Caleca, V., Horowitz, S.H., McConnell, A.J., & Seeley, H.T.

"Static mho distance and pilot relaying".
I.E.E.E. Trans. Power Apparatus Syst., 1963, 82, p.424.

Casson, W. & Last F.H.

"Ultra-high speed relays in the fields of measurements and protection"
Proc. I.E.E., 94, Pt.II, No. 42, Dec. 1947, p. 667.

Davison, E.B., & Wright, A.

"Some factors affecting the accuracy of distance-type protective
equipment under earth-fault conditions".
Proc. I.E.E., 110, No. 9, Sept. 1963, pp. 1678-88.

Dewey, C.G., Mathews, C.A., & Morris, W.C.

"Static mho distance and pilot relaying"
I.E.E.E. Trans. Power Apparatus Syst., 1963, 82, pp. 391-400.

Dietsch, C.

"Report on the work of the study committee on protection and
relaying (No. 4). *"Rapport sur les travaux du Comité d'Etudes de la Protection et des Relais (n° 4)"*.
CIGRE, N° 330, 1962.

Ellis, N.S.

"Distance protection of feeders,
Reyrolle Rev., 1957, 168, pp.16-29.

Ellis, N.S.

"Distance Protection of Feeders"
Reyrolle Pam. 1301.

Hahn, C. & others.

"Protective relays for electrical installations"

Brown Boveri Review, 53, No. 11/12, pp. 737-872, Nov./Dec. 1966.

Hamilton, F.L., Jackson, L.

Colloquium "Some present day problems in protection",

I.E.E., May 1968.

Hamilton, F.L., Legg, M., & Patrickson, J.B.

"Application of transistor techniques to relays and protection for power systems".

Proc. I.E.E., 1967, 114, (2), pp. 213-227.

Hamilton, F.L., & Patrickson, J.B.

"Experience with transistorised protection in Britain".

"Expérience acquise en Grande-Bretagne sur l'usage de dispositifs de protection transistorisés"
CIGRE N° 31-04, Part I, 1968.

Hamilton, F.L.

"Protection of feeders by pilot wires".

Reyrolle Pam. 1381.

Hartley, S.S.

"The use of suitable digital signals for sending trip signals during conditions of adverse noise".

I.E.E. Colloquium publication May 1968 "Some present problems of protection".

Humpage, W.D., & Sabberwal, S.P.

"Developments in phase-comparison techniques for distance protection".

Proc. I.E.E., 1965, 112, (7), pp. 1383-1394.

Jackson, L., Patrickson, J.B., & Wedepohl, L.M.

"Distance protection : optimum dynamic design of static relay comparators".

Proc. I.E.E., 115, pp. 280-287, Feb. 1968.

Johns, A.T.

"Power system logic".

Electronics & Power, Jan. 1968, p. 12, I.E.E.

Larner, R.A., Texas Electric Service Comp.

"Protective relaying practices for EHV systems in Western Europe".

Loving, J.J.

"Electronic relay developments".

Trans. I.E.E.E., 1949, 68, Pt. 1, p. 233.

MacPherson, R.H., Warrington, A.R. van C., & McConnell, A.J.

"Electronic protective gear relays".

Trans. I.E.E.E., 1948, 67, Pt. II, p. 1702.

McLaren, P.G.

"Static sampling distance relays".

Proc. I.E.E., Paper 5504 P, 1967.

McLaren, P.G., & McConnach, J.S.

"Sampling techniques applied to the derivation of impedance characteristics for use in power system protection".

Electronics Letters, 1965, 1, pp. 10-11.

Meikle, W.N. & Robertson, S.D.T.

"Solid state high speed phase comparison relay on zero crossings - Part II. Design."

I.E.E.E. Paper No. 67-460, (9-14 July 1967), 7 pp.

Newcombe, R.W. & others.

"Protective relays application guide".

English Electric Co., Stafford, G.B.

Parthasarathy, K.

"New static 3-step distance relay"

Proc. I.E.E., 1966, 113, (4), pp. 633-640.

Patrickson, J.B.

"The protection of transmission lines - present needs and future trends".
Proc. I.E.E., 1964, 185, pp. 12-33.

Patrickson, J.B.

"Protection of transmission lines - present needs and future trends".
Reyrolle Pam. 1384.

Pétard, M.

"La Protection des Réseaux Electriques à Haute Tension".
Bull. Scientifique de l'A.I.M., No. 1, 1964.

Pullen, F.D., & Terry, B.J.

"The effects of isolator noise on power line carrier intertripping equipment".
I.E.E. Colloquium publication, May 1968, "Some present problems of protection".

Robertson, S.D.T. & Meikle, W.N.

"Solid state high speed phase comparison relay based on zero crossings -
Part I. Theory".
I.E.E.E. Paper No. 67-459 (9-14 July 1967) 6 pp.

Rockefeller, G.D.

"Phase-comparison relaying for EHV lines".
I.E.E.E. Paper No. 67-458 (9-14 July 1967) 11 pp.

Rushton, J.

"The fundamental characteristics of pilot wire differential protection systems".
Proc. I.E.E., Paper No. 3645 S, Oct. 1961 (108 A), p. 409.

Sommerville, M.J. & Turnbull, G.F.

"Design of an accurate simulator for sampled-data systems".
Proc. I.E.E., 1962, 109 B, pp. 67-76.

Swift-Hook, D.T.

"Circuit-breaker reliability : short-circuit testing and system requirements".
Electrical Review, 182, No. 1, pp. 16-20, 5 Jan. 1968.

Wedepohl, L.M.

"Information links"
J.I.E.E., 2, pp. 179-196, 1964.

Conference Publications

Publications de Congrès

"Application and protection of pilot-wire circuits for protective relaying".
I.E.E.E., 1960, 40 pp.

"Design Criteria for System Voltages of 400 kV and above".
I.E.E. Conf. Pub. No. 15, 1965.

"The Economics of the Reliability of Supply"

I.E.E. Conf. Pub. No. 34, Oct. 1967.

"Guide for Measurements on Power Line Carrier Systems".

Power Appar. & Systems, Vol. PAS-86, pp. 1587-1592, Dec. 1967.

"Polish Relay and Protection Conference - Recent Problems in Power System Techniques"
Wroclaw University, December 1967.

"Report on the Work of Study Committee No. 4 (Protection & Relaying)".

"Rapport sur les travaux du Comité d'Etudes n° 4 (Protection et Relais)
CIGRE N° 329, 1964.

"Report on the work of Study Committee No. 4 Protection & Relaying".

"Rapport sur les travaux du Comité d'Etudes n° 4 (Protection et Relais)
CIGRE N° 337 - 1966.

"Some present-day protection problems"

Colloquium Digest No. 1968/19, 28th May 1968, I.E.E. London.

Books

- "Power System Protection" Vol. 2.
To be published by The Electricity Council, (U.K.)
- "Protective Relays"
A.R. van C. Warrington, Chapman & Hall, 1962.
- "Protective Relays Application Guide"
English Electric Co.
- "The Relay Protection of H. V. Networks".
Atabekov, Pergamon Press.
- "Selektivschutz"
Neugebauer.
- "Telephase-Phase Comparison Carrier Current Protection"
Reyrolle Pam. 1393.

9.2.1 - General *Généralités*

Bibliography of Carrier Microwave and Wire-Line Literature applicable to Power Systems :
Bibliographie sur les courants porteurs, les micro-ondes et les communications par fils dans le cas des réseaux d'énergie :
IEEE Report, IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, March 1965, Vol. PAS-84, No. 3, p. 216 (some reports in this Bibliography are referred to separately below). Also available as IEEE Paper 31 TP 65-25.

A Bibliography on Telemetering.
I.E.E.E., April 1961, 55 pp.

A Bibliography of Communication Network Studies (621.39 ; 11568).
M. Pollack, I.E.E.E. Trans. Commun. Technol. (USA), Vol. COM-13, No. 4, 552-4, Dec. 1965.

Conference Papers AIEE Special Technical Conference on EHV Communication, Control and Relaying, Dallas, March 14/16 1962.

Documents of C.C.I.T.T. IInd Plenary Assembly, New Delhi, 1960.
Red Book, Vol. 5, Series P.

Telephone Transmission Quality, Local Lines & Telephone Sets, ITU, 1962.

Documents du C.C.I.T.T. 2ème Assemblée Plénière, New Delhi. 1960.

Livre rouge, Tome V, série P.

Qualité de transmission téléphonique, réseaux locaux et appareils téléphoniques UIT, 1962.

Documents of C.C.I.T.T. IIIrd Plenary Assembly, Geneva, 1964.

Red Book, Vol. V, Series P.

Telephone Transmission Quality, Local Lines & Telephone Sets, ITU, 1965.

Documents C.C.I.T.T., 3ème Assemblée Plénière Genève. 1964.

Livre rouge, Tome V série P.

Qualité de transmission téléphonique, réseaux locaux et appareils téléphoniques UIT, 1965.

Blue Book, Vol. I, C.C.I.T.T. 1964, ITU, Sept. 1964.

Livre bleu. Tome I. C.C.I.T.T. AOYR, UIT, sept. 1964,

Third Plenary Assembly - Means of Expression.

Troisième Assemblée Plénière - Moyens d'expression.

Vol. II Telephone & Telegraph Operation 1964, ITU, 1965 Geneva, 1964.

Tome II Exploitation téléphonique et télégraphique 1964, UIT, 1965, Genève, 1964.

Vol. III Line Transmission, ITU, 1965, Geneva 1964.

Tome III Transmission sur les lignes, UIT, 1965, Genève, 1964.

Vol. IV Maintenance, ITU, 1964

Geneva, 1964.

Tome IV Maintenance, UIT, 1964. Genève, 1964.

- Vol. VI Telephone Signalling & Switching, ITU 1966.
Geneva, 1964.
Tome VI Signalisation et commutation téléphoniques, UIT 1966. Genève, 1964.
- Vol. VII Telegraph Technique, ITU, Dec. 1964.
Geneva, 1964.
Tome VII Technique télégraphique, UIT, déc. 1964. Genève, 1964.
- Vol. VIII Data Transmission, ITU, Nov. 1964.
Geneva, 1964.
Tome VIII Transmission de données, UIT, nov. 1964. Genève, 1964.
- Vol. IX Protection (against interference), ITU, 1964.
Tome IX Protection (contre les perturbations), UIT, 1964.
- Documents of C.C.I.R. XIth Plenary Assembly, Oslo, 1966, ITU, Geneva.
- Vol. I Emission, Reception, Vocabulary
Tome I Emission, réception, vocabulaire.
- Vol. 2 Propagation
Tome 2 Propagation
- Vol. 3 Fixed and mobile services, standard frequencies
and time signals. Monitoring of emissions.
*Tome 3 Services fixe et mobile, fréquences Etalon et
signaux horaires. contrôle des émissions.*
- Vol. 4(1) Radio relay systems.
4(2) Space systems, radio astronomy.
*Tome 4-1) Faisceaux hertziens
4-2) Faisceaux hertziens, systèmes spatiaux, radio-astronomie.*
- Vol. 5 Sound Broadcasting Television.
Tome 5 Radiodiffusion, télévision.
- Propagation data obtained in radio relay systems,
Geneva, 1965, ITU.
- Directives concerning the protection of telecommunication lines against
harmful effects from electricity lines.
C.C.I.T.T., I.T.U., Geneva.
*Directives concernant la protection des lignes de télécommunications
contre les actions nuisibles des lignes électriques.
C.C.I.T.T., U.I.T., Genève.*
- Glossary of terms used in Telecommunication (including radio) and
Electronics. British Standard BS 204 : 1960.
- Glossary of terms used in Automatic Data Processing.
British Standard 3527 : 1962.
- List of definitions of essential telecommunication terms.
1961, I.T.U., Geneva.
*Répertoire des définitions des termes essentiels utilisés
dans le domaine des télécommunications.
1961, U.I.T., Genève.*
- Vocabulary C.C.I.T.T., I.T.U., Geneva.
Vocabulaire du C.C.I.T.T., U.I.T., Genève.
- Wedepohl, L.M.,
"Information Links"
J.I.E.E., 2, pp. 179-196, 1964.

9.2.2 - Carrier and P.L.C. Systems
Systèmes à courants porteurs et CPL.

Carrier transfer for high-speed distance protection.

Brown Boveri Review 5/6, 47, 1960, pp. 345-352. (Paper No. 2825 E 621.316. 925.45.052.63).

CIGRE Study Committee No. 14,
Comité d'Etudes n° 14 de la CIGRE.

Standardisation of coupling elements (not directly connected to H.V. conductors).

CIGRE Study Committee No. 14, July 1967,
Comité d'Etudes n° 14 de la CIGRE, juillet 1967.

Recommended Values for Characteristic Data of Power Line Carrier
 Current Equipment.

Report of Methods of Measurements for the Application of PLC.

AIEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 81, Feb. 1962, pp. 1046-52.

Evaluation of Transfer-Trip Relaying using PLC.

AIEE Committee Report, Transactions on Power Apparatus and Systems,
81, Aug. 1962, pp. 250-55.

Evaluation of transfer-trip relaying using power-line carrier.

Trans. A.I.E.E., III, 81, 250-9, (1962), Power Apparatus
 Syst., No. 61, August 1962.

High-frequency communication channels on the shield wires of 750 kV lines.

Elekt. Stanstii (USSR), 1966, No. 11, 64-8 (Nov.), In Russian.

I.E.C. Committee No. 57. Recommendations for line traps.

Comité n° 57 de la CEI. Recommandations pour les circuits-bouchons.

I.E.C. Committee No. 33. Coupling Capacitors.

Comité n° 33 de la CEI. Condensateurs de couplage.

Allen, G. J. R.

"Communication Protective Coupling Devices for use with insulated Static Wire".

Conference Paper IEEE CP 64-127.

Alsleben, E.

"Guiding values for the planning of power line carrier communication systems and information
 on the determination of line characteristics".

(Report presented on behalf of Committee No. 14 : Teletransmission).

*"Valeurs des grandeurs caractéristiques des réseaux à haute tension à
 prendre en considération pour l'établissement d'un projet d'installation
 à courants porteurs et données pour la mesure de ces grandeurs (Rapport
 présenté au nom du Comité d'Etudes n° 14 : Télétransmissions).*

CIGRE N° 319, 1962.

Bartsch, R. & Bergmann, G.

"Transmission of line protection signals over power line carrier circuits".

Siemens Rev. (Germany), 28, No. 7, pp. 231-6, July 1961.

Bartsch, R & Bergmann, G.

"Carrier communication over extra-high voltage lines".

Siemens Rev. (Germany), 32, No. 12, pp. 399-404, Dec. 1965.

Bozoki, B.

"Effects of noise on transfer trip carrier relaying".

IEEE Paper 31 TP 67-28.

Bozoki, B., & Jones, D.E.

"PLC Coupling Investigations on a 500 kV Line".

IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 84, March 1965 ;
 also IEEE 31. TP 65-53.

Bozoki, B.

"Improved tuned coupler for power line carrier"
Ontario Hydro Research Quarterly, Vol. 20, No. 1, 1st quarter 1968, p. 20.

Bozoki, B.

"Effects of noise on transfer trip carrier relaying"
AIEE Paper 31 PP 67-28, 1967.

Braine, M.R.

"The siting of earths for telecommunication installations"
Point-to-Point Telecommunications, Vol. 13, No. 1, Jan. 1969,
p. 47, Marconi, Chelmsford.

Bykhovskii, Y.L. et al.

"Characteristics of carrier current channels".
"Caractéristiques des voies de liaison par courant porteur sur ligne de transport d'énergie".
CIGRE N° 312, 1962.

Bykhovskii, Y.L.

"Designing the means of coupling portable high-frequency communication sets to the conductors of a transmission line".
Elekt. Stanstii (USSR), 1961, No. 11, pp. 79-85 (Nov.) (In Russian).

Combs, E. E.

"Power line carrier coupling"
Trans. I.E.E.E., Vol. PAS-87, No. 2, Feb. 1968.

Eltringham, G. C.

"Some measurements of radio frequency noise radiated from extra high tension power transmission lines"
G.P.O. Memorandum W.I. 3/3 No. 884, Jan. 1965.

Eltringham, G. C.

"The measurement of the levels of radiated fields generated by a continuous carrier communication system on a 275 kV power line"
G.P.O. Memorandum W.I. 3/3 No. 885.

Eltringham, G. C.

"Empirical determination of attenuation laws with distance of radio noise radiated from A.C. power lines".
G.P.O. Memorandum W.I. 3/3 No. 886, March 1965.

Eltringham, G. C.

"Determination of the attenuation laws with distance of radiation from 0.084 and 3.8 MHz carrier-current systems on A.C. overhead power lines"
G.P.O. Memorandum W.I. 3/3 No. 888, March 1965.

Eltringham, G. C.

"Radiation from extra high tension A.C. power lines, levels and attenuation laws with distance".
G.P.O. Memorandum W.I. 3/3 No. 895, June 1965.

(obtainable from Post Office Engineering Dept., W.I. 3/3,
2-12 Gresham Street, London, E.C.2).

Feil, R. & Gutwill, K.

"Transistorized s.s.b. power line carrier equipments for telephony and telemetry".
Siemens-Z (Germany), 36, No. 4, 305-8 (April 1962). (In German).

Foulds, D., Hill, A.S., Howle, S. & Wedepohl, L.M.

"Capacitor voltage transformer and carrier coupling equipment".
I.E.E. Conf. Publ. (GB), 1965, No. 15, pp. 209-15.

Hahn, C.

"Power system communications using power lines or radio".
Brown Boveri Review - 46 No. 11/12, Nov./Dec. 1959, pp. 704-716.

Haugh, H.

"Carrier transfer for the protection of tapped and two-circuit lines".
Brown Boveri Review, 49, No. 3/4, March/April 1962, pp. 133-146.

Discussion by J. Hooper and F.D. Pullen

I.E.E.E. Trans. Power Apparatus & Systems, 84, No. 6, June 1965, pp. 492-494.

Hooper, J. & Pullen, F.D.

"Carrier coupling to high voltage lines by parallel transmission Lines".

Central Electricity Research Laboratories Report RD/L/R.1353.

Imaide, S. & Kakigawa, K.

"Characteristics of impulsive noise in power line carrier systems and its effect on low-speed data transmission channels".

Elect. Eng. g. Japan (USA), 85, No. 5, 1-11 (May 1965).

Imaide, S., Kongure, J., Kakigawa, K., Moriwaki, T., Takamatsu, T., & Nakamoto, K.

"Noise due to switching operations in a 120 kV power system and its effects on 600 baud data transmission over power line carrier channels".

Elect. Eng. g. Japan. 86, No. 6, June 1966, pp. 86-94.

Jones, D.E.

"Power line carrier operation during line faults".

Ontario Hydro Research News 12, No. 3, July-Sept. 1960.

Jones, D.E.

"Operation of a PLC system during sustained line faults".

AIEE Transactions on Power Apparatus & Systems, 79, Aug. 1960, pp. 556-60.

Jones, D.E. & Leslie J.R.

"Amplification of power line carrier signals at intermediate stations".

Ontario Hydro Research News, Feb. 1962.

Jones, D.E. & Leslie, J.R.

"Amplification of PLC at intermediate stations".

AIEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 82, Oct. 1963, pp. 683-686.

Jones, D.E. & Bozoki, B.

"Experimental evaluation of PLC propagation on a 500 kV line".

IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 83, Jan. 1964, pp. 16-23.

Jones, D.E.

"Staged faults with PLC transferred-trip relaying for line protection".

AIEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 78, Aug. 1959, pp. 588-95.

Jones, D.E.

"Parallel-wire couplers for power line carrier".

Ontario Hydro Research Quarterly, 1st Quarter 1967, pp. 21-25.

Jones, D.E.

"Parallel-wire couplers for power line carrier analysis and field studies".

IEEE Paper 68 CP 49-PWR.

Keyser, G.M. & Hicks, R.L.

"A directional coupler for power line carrier".

IEEE 31 TP 65-183.

Kuhn, K.H.

"Influence of faults in power lines upon HF telecommunication".

"Influence des défauts des lignes d'énergie sur les télécommunications à haute fréquence".

CIGRE N° 309, 1948, 1950, & 312, 1952.

Lindig, K.

"Transistorized carrier system Z 1 H for transmission of telephone and telecontrol channels on HT power and communication lines"

SEL Nachr. (Germany), 8, No. 4, pp. 198-202, 1960. (In German) (*en allemand*)

Loercher, O. & Lucht, H.

"Power supply to all transistor equipment for carrier systems".

SEL Nachr. (Germany), 8, No. 4, pp. 191-8, 1960. (In German) (*en allemand*)

Podszeck, H.K.

"Carrier Communication over power lines"

Springer-Verlag, Berlin, 1963, p. 172.

Pullen, F.D. & Terry, B.J.

"The effects of isolator noise on power line carrier intertripping equipment".
I.E.E. Colloquium publication May 1968 "Some present problems of protections".

Reichman, J.

"Insulated overhead ground wires - protective carrier relaying investigations".
Trans. I.E.E.E., Vol. PAS-87, No. 4, Jan. 1968.

Sailer, E. & Serge, G.

"Results of tests on a telecommunication network servicing power production and transmission".
"Relevés effectués dans un réseau de télétransmissions au service de la production et du transport d'énergie".
CIGRE N° 321, 1958.

Šakić, B.

"Spectral properties of isolator noise".
Brown Boveri Review, No. 4/5, 1968.

Senn, W., & Friedmann, W.

"New carrier-frequency equipment for communication over power lines".
Brown Boveri Review, No. 5, 1964.

Senn, W.

"Fully transistorised power line carrier equipment".
Brown Boveri Review, 5/6, 1965.

Sherman, M.S.

"High-frequency channels along a lightning shield wire",
Elekt. Stantsii (USSR), 1962, No. 9, 91 (Sept.) (In Russian).

Wagner, C.L. et al.

"Evaluation of power line carrier transfer trip relaying".
AIEE, Feb. 1962.

Wedepohl, L.M. and Wasley, R.G.

"Some problems in power line carrier transmission on overhead line and overhead line/
cable circuits".
I.E.E. Colloquium Digest No. 1968/19, p. 374-381.

Wohlgemuth, D.G., Gillies, D.A. & Dietrich, R.E.

"Transfer-trip relaying field tests and operating experience".
AIEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 81, Aug. 1962, pp. 225-233.

Wohlgemuth, D.G., Gillies, D.A. & Dietrich, R.E.

"Field tests and operation experience with carrier transfer trip relaying through line faults".
"Essais à pied d'oeuvre et expérience d'exploitation avec un système de relais de transfert de déclenchement à courant porteur à travers les défauts de la ligne".
CIGRE N° 304, 1962.

9.2.3 - Data Transmission, Information Theory, A.F. Transmission
Transmission de données, théorie de l'information, transmission BF.

Barker, R.H.

Group Synchronisation of Binary Digital Systems "Communication Theory".
W. Jackson (ed.) pp. 273-278, Butterworth Scientific Publications, London, 1953.

Baronin, S.P.

"Method of increasing the noise immunity of telephone signals".
Radiotekhnika (USSR), 18, No. 3, pp. 3016, March 1963. (In Russian)
English translation in: Telecomm. Radio Eng.g., Pt. 2, (USA), 18, No. 3,
pp. 28-35, March 1963.

Bennett & Davy

"Data Transmission"
McGraw Hill (Inter-University Electronics Series).

Blokh, E.L. & Kharkevich, A.A.

"Parasitic modulation, caused by a small additive interference".
Radiotekhnika (USSR), 17, No. 11, pp. 5-13, Nov. 1962. (In Russian).

- Brown, J & Glazier, E. V. D.
"Telecommunications"
Chapman & Hall.
- Chugin, Yu. I.
"Noise stability for impulse noise of frequency telecontrol systems".
Avtomat i. Telemekh. (USSR), 23, No. 2, pp. 222-241, 1962. (In Russian).
- Cramer, Harald.
"Mathematical methods of statistics".
Princeton University, N.J.
- Engel, J.S.
"Digital transmission in the presence of impulsive noise".
Bell Syst. Tech. J. (USA), 44, No. 8, pp. 1699-1743, Oct. 1965.
- Fano, R. F.
"Transmission of information"
M.I.T. (Wiley).
- Fennick, J.H.
"A report on some characteristics of impulse noise in telephone communication".
IEEE Trans. Commun. Electronics (USA), No. 75, pp. 700-4, Nov. 1964.
- Glossary of terms used in automatic data processing.
British Standard 3527 : 1962.
- Gosland, L.
"Report on the work of Study Committee No. 11 : Radio and telephone interference".
Rapport d'activité du Comité d'Etudes n° 11 : Perturbations radiophoniques et téléphoniques.
CIGRE N° 329, 1962.
- Guide for Protective Relay Applications of Audio Tones over Telephone Channels.
IEEE Power System Relaying Committee Report, Aug. 1965.
- Guillemin, E.
"Communication Networks".
- Hamming, R. W.
"Error detecting and error correcting codes"
Bell System Technical J., 26, pp. 147-160, April 1950.
- Harbrink, H.
"System protection transmission apparatus with F6 modulation".
ÖZE, 20, No. 4, pp. 131-136, April 1967.
(English Translation C.E. Trans. 4694 from C.E.G.B. Information Services, Grindall House, 25 Newgate Street, London, E.C.1.)
- Hartley, R. V. L.
"Transmission of information"
Bell System Technical J., 7, 1928, p. 535.
- Hartley, G.C., Mornet, P., Ralph, F. & Tarran, D.J.
"Techniques of pulse-code modulation in communication networks".
Cambridge University Press, 1967.
- Hartley, S.S.
"The use of suitable digital signals for sending trip signals during conditions of adverse noise".
I. E. E. Colloquium publication, May 1968, "Some present problems of protection".
- Hartley, S.S., Hawkins, P. and Hooper, J.
"The transmission of trip signals through noise using digital correlation techniques".
C. E. R. L. Laboratory Report RD/L/R. 1583.
- Henkler, O. & Klimant, H.
"On the probability of errors in data transmission".
Nachrichtentechnik (Germany), 16, No. 1, pp. 11-15, Jan. 1966. (In German).

- Huggler, L.R.
 "Characteristics of telephone company channels for signalling services".
 AIEE Technical Conference, Dallas, Texas, March 1962.
- Imaide, S. & Kakigawa, K.
 "Characteristics of impulsive noise in power-line carrier systems
 and its effect on low speed data transmission channels".
 Electrical Engineering in Japan, 85, No. 5, May 1965.
- Jackson, Willis.
 "Communication Theory".
 Butterworth, 1953.
- Javid & Brenner.
 "Analysis, transmission and filtering of signals".
 McGraw Hill.
- Karczmarewicz, A.
 "Measurements of telegraphic distortions".
 Przegląd telekomun. (Poland), 1962, No. 6, pp. 166-170. (In Polish).
- Kelly, J., Mercurio, J. & Willard, D.
 "Two measuring techniques for the investigation of impulse noise and dropouts on telephone
 lines".
 Trans. A.I.E.E. I, 80, pp. 585-590, 1961.
 Commun. and Electronics, No. 58, Jan. 1962.
- Merz, P. & Mitchell, D.
 "Transmission aspects of data transmission service using private line voice telephone
 channels".
 Bell System Technical J., 36, 1957, pp. 1451-1486. (Copyright, 1957
 the American Telephone & Telegraph Co. Reprinted by permission - see Appendix A3.4).
- Peterson, W.W.
 "Error correction codes".
 J. Wiley & Sons Ltd., 1961.
- Pettit, R.H.
 "Pulse sequences with good auto correlation properties".
 Microwave Journal, 10, No. 3, Feb. 1967.
- Reynolds, A.J., Voelcker, Jr. H.B. & White, R.E.C.
 "A technique for improving the intelligibility of speech transmitted by amplitude modulation
 over noisy channels".
 IRE Trans. Commun. Syst. (USA), CS-9, No. 3, 222-5, Sept. 1961.
- Rowe
 "Signals and noise in communication systems".
 Bell Telephone Laboratories Series, Van Nostrand.
- Schwartz, Mischa
 "Information Transmission, Modulation and Noise".
 McGraw Hill.
- Shannon, C.E.
 "A mathematical theory of communication".
 Bell System Technical J., 27, pp. 379-423, July 1948 ; 27, pp. 623-656, Oct. 1948.
- Shannon, C.E. et al.
 "The philosophy of P. C. M. "
 Proc. I.R.E., Nov. 1948.
- Shannon, C.E. & Weaver, W.
 "The mathematical theory of communications".
 University of Illinois Press (Urbana), 1949.
- Swoboda, Gunter
 "Die planung von fernwirkanlagen".
 Oldenbourg 1967 (English version, Van Nostrand Reinhold).

Taylor, E.O.

"Power system communications".

Newnes, London, 1957, pp. 122-136.

Van Duuren, H. C. A.

"Error probability and transmission speed on circuits using detection and automatic repetition of signals".

I.R.E. Trans. Com. Systems, CS-9, pp. 38-50, March 1961.

Wainwright, R. A.

"On the potential advantage of a smearing-desmearing filter technique in overcoming impulse-noise problems in data systems".

IRE, Trans. Commun. Syst. (USA), CS-9, No. 4, pp. 862-6, Dec. 1961.

9.2.4 - Induction, Transients, Interference and Communication Line Protection.

Induction, transitoires, perturbations et protection des circuits de télécommunications.

"Inductive co-ordination between power and telecommunication lines"

C.E. Bibliography No. 207, 1968. (contains 113 references).

"Telephone line protection against overvoltages".

C.E. Bibliography No. 208, 1968. (contains 82 references).

(obtainable from Reports Library, C.E.G.B., Grindall House, 25 Newgate Street, London E. C. 1.).

Allen, G. J. R.

"The use of insulating transformers or combined insulating and drainage transformers to protect circuits serving electric power stations".

Presented at Winter General Meeting, Quebec, Jan. 1963, Canadian Electrical Association, Grounding Section.

Baatz, Dr.

"Report on the activities of Study Committee No. 8 (Lightning and Surges)".

"Rapport sur les travaux du Comité d'Etudes n° 8 sur les Surtensions et la Foudre".

CIGRE N° 325, 1962, 75 pp.

Ball, W. C. & Poarch, C. K.

"Telephone influence factor (T.I.F.) and its measurement".

Trans. A.I.E.E. I, 79, pp. 659-664, 1960.

Commun. & Electronics, No. 52, Jan. 1961.

Berger, K.

"Lightning resistant telecommunication cables".

Bull. Assoc. Suisse Elect. (Switzerland), 53, No. 3, pp. 101-5.

(Feb. 2, 1962). (In German).

Birch, F. H., Burrows, G. H. & Turner, H. J.

"Investigations into transient overvoltages on secondary wiring at E.H.V. switching stations".

Recherches relatives aux surtensions dans la filerie secondaire des postes à T.H.T.

CIGRE N° 31-04, II, 1968.

Birch, F. H. & Turner, H. J.

"Field investigations into transient overvoltages in secondary wiring"

I.E.E. Colloquium Digest 1968/19, pp. 382-390.

Blackburn, J. L.

"Voltage induction in parallel transmission circuits".

Trans. A.I.E.E. III, 81, pp. 921-929, 1963.

Power Apparatus Syst., No. 64, Feb. 1963.

Boehne, E. W.

"E.H.V. surge suppression in interrupting light currents with air switches".

Trans. I.E.E.E., Oct. 1965, Vol. PAS-84, No. 10.

Burrows, G. H.

"Transient overvoltages on the secondary wiring of 400 kV systems".

E.E. Co. MRI Division Report S/SP p. 1, 4.6.67.

Burrows, G. H.

"Impulsive overvoltages in the secondary wiring of E.H.V. systems".

Draft I.E.E. paper. (Burrows is with E.E. Co. and his draft quotes the Stella, West Burton and Cottam measurements).

CCITT

"Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electricity lines".

Int. Telecomm. Union, 1963, 2 rue de Varembe, Geneva 20.

"Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques".

Union Inter. des Télécommunications, 1963, 2 rue de Varembe, Genève 20.

Callow, J. A. & Mackley, K. W.

"Impulsive overvoltages on secondary circuits of 330 kV capacitor voltage transformers".

"Surtensions brusques dans les transformateurs de tension capacitifs à 330 kV".

CIGRE N° 136, 1962.

Campling, C. H. R., Cemens University, Kingston, Ont., Canada.

"Power station ground potential and its relation to communication circuit protection".

Conference Paper IEEE 63-111.

Cherry, C.

"Pulses and transients in communication circuits".

Chapman & Hall, London, 1949, 317 pp.

(An introduction to circuit transient analysis. List of references at end of each chapter.)

Cranmer, J. M. & Fielding, H.

"Comparative measurements of high frequency induction in telecommunication cables".

CIGRE, *Comité d'Etudes n° 11*, Study Committee No. 11.

Dietrich, R. E. & Gillies, D. A., Bonneville Power Administration.

"Shielding measuring circuits from fast rise voltages and currents".

Erbacher, W.

"Statistical assessment of frequency and magnitude of inductive interference of telecommunication lines by high voltage lines".

Osterr. Z. ElektWirtsch. (O. Z. E.), 13, No. 1, 1-9, Jan. 1960. (In German).

Feist, K. H.

"Parameters of three-phase high voltage systems related to inductive and conductive coupling with telecommunications circuits".

Elektrotech. Z (ETZ), A (Germany), 85, No. 20, pp. 641-646, 2nd Oct. 1964. (In German).

Ficchi, R. F.

"Electrical interference".

Iiffe, London, 1964, 262 pp.

(Covers the whole subject of electrical interference. Classified bibliography on pp. 228-256).

Gillies, D. A. & Ramberg, H. C.

"Methods of reducing induced voltages in secondary circuits".

IEEE Paper 31 PP 66-326.

"A guide for the protection of wire line communications facilities serving electric power stations".

IEEE Trans. Power Apparatus Systems. (USA), PAS-85, No. 10, pp. 1065-83, Oct. 1966.

Hamilton, F. L. & Patrickson, J. B.

"Experience with transistorised protection in Britain".

"Expérience acquise en Grande-Bretagne sur l'usage de dispositifs de protection transistorisés".

CIGRE N° 31-04 I, 1968.

Harrison, D.

"The mechanism of interference pick-up in cables and electronic equipment with special reference to nuclear power stations".

Radio Electronic Engr. (GB), 29, No. 3, pp. 149-160, March 1965.

Hayes, H. C. S. & Csuros, L.

"Disturbance induced in Post Office circuits by power lines".

I. E. E. Conf. Rep. Ser. (GB) No. 8, pp. 66-75, 1964.

(Abnormal loads on power systems, London, 1963).

Hiorns, D. S.

"Surge interference, its importance and cure".

Brit. IRE Symposium (and other papers considered at that symposium).

Ida, E.S.

"Reducing electrical interference".

Control Eng. g. (USA), 9, No. 2, pp. 107-111, Feb. 1962.

Imaide, S., Kogure, J., Takikawa, K., Moriwaki, T., Takamatsu, T. & Nakamoto, K.
"Noise due to switching operations in a 220 kV power system and its effects on 600-baud data transmission over power line carrier channels".

Elect. Eng. g. Japan (USA), 86, No. 6, pp. 86-94, June 1966.

Jaudet, M.R.

"*Origine, nature et ordre de grandeur des oscillations à haute fréquence produites par les manoeuvres de sectionneurs sur les réseaux de transport d'énergie à haute tension*".

"Origin, nature and magnitude of high frequency oscillations produced by isolator operation on high voltage transmission networks".

Bulletin de la Société Française des Electriciens. 8e Série. Tome 1, No. 6, 1960, pp. 381-398.

(translated into English by the Electricity Supply Board, Dublin).

Jones, R.D.

"A new three-electrode gas-filled telecommunications line protector".

A.E.I. Eng. g. Rev., 1, No. 1, pp. 10-17, May 1960.

Klewe, H.R.J.

"Interference between power systems and telecommunication lines".

Edward Arnold, London, 1958, 252 pp., 589 refs.

(Based on work carried out at ERA, this book covers the subjects of numbers 1, 3 and 4 of these bibliographies, up to 1957).

Knowlton, A.E. (ed.)

"Standard handbook for electrical engineers".

McGraw-Hill, New York, ninth ed., 1957, pp. 1988-1990.

(Outlines the principles of protection of communication equipment against excessive voltages and current).

Kunz, R.

"The reduction transformer as a means of protection against inductive interference from power lines".

Nachrichtentech. Z. (NTZ) (Germany), 17, No. 9, pp. 483-487, Sept. 1964,

(In German) (*en allemand*)

Lehmann, G.

"Lightning damage on buried cables and experiences with preventive measures".

Elektrie (Germany), 16, No. 2, pp. 36-38, Feb. 1962. (In German) (*en allemand*)

Lemieux, J.E.R.

"Field experience with gas-filled protectors on communication lines".

IEEE Trans. Commun. Electronics (USA), No. 67, pp. 441-8, July 1963.

Losev, S.B.

"Some points on the behaviour of the high-frequency protection of 400-500 kV lines in the presence of electromagnetic transients".

Elektrichestvo (USSR), 1962, No. 2, pp. 20-26 (Feb.) (In Russian) (*en russe*)

Maggi, L.

"*Sur la limite de la f.e.m. longitudinale induite tolérable dans les circuits aériens de télécommunications*".

The limit of the induced longitudinal voltage allowable in telecommunication overhead circuits. CIGRE N° 337, 1954.

Martin, R.E.

"The protection of telecommunication equipment from damage by overvoltages".

C.E.R.L. Laboratory Memorandum RD/L/M.187.

(References to bibliographies of some 200 papers on inductive co-ordination and protection).

McAdam, W. & Vandeventer, D.

"Solving pick-up problems in electronic instrumentation".

I.S.A. J., 7, No. 4, pp. 48-52, April 1960.

Mikhailov, M.I. & Razumov, L.D.

"The protection of telephone lines, entering the territory of high-voltage substations, from dangerous voltages".

Elekt. Stantsii (USSR), 1960, No. 7, pp. 71-76 (July). (In Russian) (*en russe*)

Miyazi, I. & Kito, Y.

"Transient overvoltages due to electromagnetic interference at switching operation in power systems".

El. Eng. Japan, Nov. 1965, pp. 50-60.

Murphy, J.W.

"New conductor shielding for lo-hi electromagnetic interference control".

Trans. I.E.E.E., Vol. AES-2, No. 4, July 1966, p. 334, 343.

Otterbech, H.

"The lightning protection of broadcasting stations in Norwegian mountains".

EBU Rev. A (Internat.), No. 66, pp. 58-60, April 1961.

Paimboeuf, M.

"Special report for Group 35 (Radio and telephone interference)".

CIGRE

"Rapport spécial du Groupe 35 (Perturbations radiophoniques et téléphoniques)".

Palenquist, T.F.

"Multi-unit neutralizing transformers"

AIEE Report 56-929.

Pearlston, C.B.

"Case and cable shielding, bonding and grounding considerations in electromagnetic interference".

IRE Trans. Radio Frequency Interference (USA), RFI-4, No. 3, pp. 1-16, Oct. 1962.

Piab Co.

"I. E. M. K. Instrument for computing induced electromotive force".

(Vegatan, 24, Sundbyberg, Sweden).

Postler, L.

"Danger to communications cables from power systems".

Slaboprudy Obzor (Czechoslovakia), 23, No. 8, pp. 453-458, 1962.

(In Czech.) (*en tchèque*)

Purt, G.

"The protection of telecommunications installations against overvoltages".

Elektrotech. Z. (ETZ) B (Germany), 18, No. 2, pp. 41-44, 28 Jan. 1966.

de Quervain, A.

"Protection of transistorised equipment against surges"

C. E. G. B. Translation T 738.

Rambol & Saxegaard.

"Railway cable with high screening properties".

Electrical Communication, 42, No. 1, 1967, pp. 115-126.

Ransaur, O.

"Neutralizing chokes for telephone lines entering power stations".

Trans. A.I.E.E. III, 79, pp. 124-128, 1960.

Pwr. Apparatus Syst., No. 47, April 1960.

"Recommended transient voltage tests applicable to transistorised relays".

B. E. A. M. A. Publication No. 219, Nov. 1966.

Šakić, B.

"Spectral properties of isolator noise"

Brown Boveri Review, April/May 1968, p. 241.

Saunders, R.

"Effects of terrestrial electromagnetic storms on wireline communications".

IRE Trans. Commun. Syst. (USA), CS-9, No. 4, pp. 367-377, Dec. 1962.

Scantlebury, L.F. & Cobbe, D.W.R.

"Railway A.C. electrification and its effects on line communication circuits".
Pap. Instn. Post Off. Elect. Engrs. (GB), No. 217, 20 pp. (rec. March 1961).

Sessler, L.H., Bell Telephone Labs., Murray Hill, New Jersey.

"Protective practices for leased pilot wire relaying circuits".
Presented at the 1964 Protective Relaying Conference, Georgia Institute of Technology,
May 7/8, 1964.

Smith, L.E.

"Voltages induced in control cable from arcing 500 kV switches".
IEEE Paper No. 31, pp. 66-467.

"Solid state transient protection".

Electrical Communication, 42, No. 1, 1967, Section 5.4, p. 70.

Turner, H.J.

"Measuring transient overvoltages on instrument feeders".
The Radio & Electronic Engineer, Sept. 1964, p. 191.

Turner, H.J.

"Field investigation of overvoltages on low voltage wiring".
Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, G.B.
Report RD/L/R.1509, 1968.

Vetter, J. & Hannig, R.

"The surface earthing of communication plant by a power current connection in a low-voltage overhead line network".

Nachrichtentech. Z. (NTZ) (Germany), 15, No. 1, pp. 25-34, Jan. 1962.
(In German) (*en allemand*).

Viehmann, H.

"Sixth international conference on protection against lightning".
Elektrotech. Z. (ETZ) A (Germany), 82, No. 18, pp. 579-582.
(Aug. 28, 1961). (In German) (*en allemand*).

Wallace, J.B.

"A study of surge voltages occurring on the control bus at Walton Station".
Detroit Edison Com., AIEE Special Technical Conference, Dallas, Texas, March 1962.

Widl, E.

"Contribution to the problem of interference of power installations with telecommunication cables".

Elektrizitätswirtschaft (Germany), 61, No. 22, pp. 823-833,
(Nov. 20, 1962). (In German) (*en allemand*).

9.2.5 - Radio and Microwave Systems *Systèmes radio et micro-ondes.*

Bibliography of carrier, microwave, and wire-line literature applicable to power systems.
Bibliographie sur les courants porteurs, les micro-ondes et les communications par fils dans le cas des réseaux d'énergie :

IEEE Trans. Power Apparatus Syst. (USA), No. 3, pp. 216-219, March 1965.

(This bibliography presents references to significant literature in the field of power system communications from 1955 to 1964. The references are classified according to subject matter and listed chronologically).

Barnett, W.T.

"Microwave Radio Relay : Attainment of Reliability Objectives".
Trans. IEEE, Vol. COM 14, No. 1, Feb. 1966, pp. 39-46.

Bartlett, S.C.

"Microwaves and their use in power systems".
AIEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 78, Jan. 1960, pp. 1095-1106.

Bartlett, S.C.

"Power utilities use of microwave in the United States".
Usage des hyperfréquences par les Entreprises électriques aux Etats-Unis.
CIGRE N° 302, 1962.

- Blakely, C.E., Bailey, R.N., Jenkins, H.H., Rogers, W.M., Wood, E.W. & Ficchi, R.F.
 "Bibliography on radio frequency interference".
 IRE Trans. Radio Frequency Interference (USA), Vol. RF1-4, No. 1, pp. 1-211, Feb. 1962.
- Cox, E.H. & Martin, R.E.
 "Radiocommunication in the Power Industry".
 Proc. I.E.E. 108, Pt. A., No. 38, April 1962, pp. 153-168. (Paper No. 3290S, July 1960).
- Currah, A.D.
 "Thin line tropospheric scatter"
 Point-to-Point Telecommunications, Vol. 12, No. 3, July 1968, Marconi, Chelmsford.
- Egan, J.J., Sten, K. & Herley, J.
 "A microwave system for protective relaying".
 Trans. AIEE 76, Pt. III, 1957, p. 585.
- Hedderly, D.L., Hooper, J. & McPhun, M.K.
 "Short-hop radio-relay systems using tunnel diode repeaters".
 Proc. I.E.E., 114, No. 4, April 1967, pp. 435-442.
- Hooper, J.
 "Microwaves for the electricity supply industry".
 Central Electricity Research Laboratories, Report RD/L/R.1343.
- "Microwave system reliability"
 see J.L. Williams under "reliability".
- "Radio spectrum utilisation".
 IEEE - JTAC, 1964.
- Reed, H.R. & Russell, C.M.
 "Ultra high frequency propagation".
 Science Paperbacks & Chapman & Hall Ltd., 1966.
- Williams, J.L.
 "Reliability considerations for microwave radio systems".
 Report RDP/S-MWPL-003, Collins Radio, Dallas, Texas.
- Young, L.
 "Advances in microwaves".
 Academic Press, London.

9.2.6 - Reliability
Sécurité de fonctionnement

- Ailor, R.H.
 "Estimating reliability of complex systems".
 NASA-TM-X-53592, June 1967, 78 p. STAR Accn. No. N67-29427.
- Alven, von W.H.
 "Reliability Engineering".
 A.R.I.N.C. Research Corporation, Prentice Hall Inc., Englewood, 1964.
- Bazowsky, I.
 "Reliability Theory and Practice".
 London Prentice Hall International, 1961.
- Buzacott, J.A.
 "Reliability of Systems within Service Repair"
 Ph. D. Thesis, University of Birmingham, March 1967.
- Buzacott, J.A., Weaving, A.H. & Wesolowski-Low, T.A.
 "Quantitative Safety".
 Trans. Soc. Instrument Technology, London, 1967.
- Dummer, G.W.A.
 "Electronic equipment reliability assessment chart".
 Sept. 1967, United Trade Press, London.
 I.E.C. Publication 271.

Malevinskiy, G. V. and Fedotov, D. K.

"Investigations of the reliability of protection, automatic control and monitoring equipment in power stations".

Elekt. Stantsii, Vol. 37, No. 8, pp. 34-38, August 1966.

(English Translation from C. E. G. B. Information Services, C. E. Trans. No. 4679).

Manov, N. A.

"Analysis of relay protection reliability on the basis of operational

Elekt. Stantsii, Vol. 39, pp. 56-58, March 1968, (E. R. A. Abstract).

Swift-Hook, D. T.

"Circuit-breaker reliability : short-circuit testing and system requirements".

Electrical Review, 182, No. 1, pp. 16-20, 5 Jan. 1968.

Williams, J. L.

"Reliability considerations for microwave radio systems".

Report RDP/S-MWPL-003, Collins Radio, Dallas, Texas.

"The economics of the reliability of supply".

I. E. E. London Conference Publication No. 34, Oct. 1967.

9.2.7 - Wave Propagation in Lines

Propagation des ondes sur les lignes

Adams, C. E.

"Wave propagation along unbalanced high-voltage transmission lines"

AIEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 78, Aug. 1959, pp. 639-657.

Barthold, L. O.

"RF propagation on polyphase lines"

IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 83, July 1964, pp. 665-671.

Carson, J. R., Hoyt, R. S.

"Propagation of periodic currents over a system of parallel wires".

Bell System Technical J., New York, 6, 1927, pp. 495-545.

Chevallier, A.

"Propagation of high-frequency waves along a symmetrical three-phase line".

Revue Générale d'Electricité, Paris, 54, Jan. 1945, pp. 25-42.

Galloway, R. H., Shorrocks, W. B. & Wedepohl, L. M.

"Calculation of electrical parameters for short and long polyphase transmission lines".

Proc. I. E. E., 111, No. 12, Dec. 1964, pp. 2051-2059.

Hedman, D. E.

"Propagation on Overhead Transmission Lines"

Part I Theory of Model Analysis IEEE 31 TP 65-101.

Part II Earth Conduction Effects and Practical Results IEEE 31 TP 65-102.

Hooper, J. & Pullen, F. D.

"Carrier coupling to high voltage lines by parallel transmission lines".

Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, Report RD/L/R.1353.

Jones, D. E.

"Parallel wire couplers for power line carrier analysis and field studies".

IEEE Paper 68 CP 49-PWR.

Mikkelsen, A.

"Attenuation of carrier transmission on power lines, especially during formation of ice and rime on the conductor".

"Affaiblissement de la transmission par courants porteurs sur ligne d'énergie, spécialement pendant la formation de verglas et de givre sur les conducteurs".

CIGRE N° 323, 1950.

Perz, M. C.

"Natural Modes of PLC on horizontal three-phase lines".

IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 83, July 1964, pp. 679-686.

Perz, M. C.

"A method of analysis of PLC problems on three-phase lines".

IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 83, July 1964, pp. 686-692.

Pullen, F. D.

"Tables of calculated impedance, current distribution and propagation coefficients for modes of propagation along C.E.G.B. and N.S.H.E.B. power lines".

Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, Report RD/L/R.1483.

Ushirozawa, M.

"HF propagation on non-transposed power lines".

IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, 84, Nov. 1964, pp. 1137-1142.

Wedepohl, L. M.

"Application of matrix methods to the solution of travelling-wave phenomena in polyphase systems".

Proc. I.E.E., 110, No. 12, Dec. 1963.

Wedepohl, L. M.

"Electrical characteristics of polyphase transmission systems with special reference to boundary value calculations at power line carrier frequencies".

Proc. I.E.E., 112, No. 11, Nov. 1965.

Wedepohl, L. M. & Wasley, R. G.

"Wave propagation in multiconductor overhead lines".

Proc. I.E.E., 113, No. 4, April 1966.

Wedepohl, L. M. & Wasley, R. G.

"Wave propagation in polyphase transmission systems".

Proc. I.E.E., 112, No. 11, Nov. 1965.

Wedepohl, L. M. and Wasley, R. G.

"Some problems in power line carrier transmission on overhead line and overhead line/cable circuits".

I.E.E. Colloquium Digest No. 1968/19, pp. 374-381.

10. – REMERCIEMENTS

Tous les membres du Groupe de Travail sont remerciés ici pour leur collaboration dans la préparation de ce Rapport. Les auteurs expriment en particulier leurs remerciements aux Présidents et aux membres des Comités 4 et 14 de la C.I.G.R.E. qui ont les premiers souligné la nécessité d'une étude conjointe et ont par la suite contribué à ce travail.

Les auteurs sont particulièrement reconnaissants à M. M. Holleville qui a assuré la traduction en français, ainsi qu'à leurs organismes respectifs pour l'aide qu'ils ont fournie dans les domaines du secrétariat, des réunions et de la publication de cet ouvrage. Les personnes qui, dans différents pays, ont apporté au cours de l'établissement de ce Rapport une aide extrêmement appréciée sont trop nombreuses pour être citées individuellement mais sont ici sincèrement remerciées.

Il convient également de remercier la Commission Electrotechnique Internationale, l'Union Internationale des Télécommunications, l'United States of America Standards Institution et la British Standards Institution pour l'aimable autorisation de reproduire certaines définitions de leurs publications. Enfin, l'American Telephone and Telegraph Co. est remerciée pour son autorisation de reproduire, dans la Section A3.4 un texte extrait du B. S. T. J.

On trouvera ci-dessous la liste des membres du Groupe de Travail :

Président	R. E. Martin (GB)
Membres du Comité n° 4 (Protection)	
Animateur du Groupe	F. L. Hamilton (GB)
	M. Pétard (F)
	G. Dienne (B)
Membres du Comité n° 14 (Télécommunications)	
Animateur du Groupe	A. de Quervain (CH)
	E. Sailer (I)
	E. Alsleben (D)
	M. Holleville (F)

10. – ACKNOWLEDGMENTS

The assistance of all the members of the Working Group in the preparation of this report is gratefully acknowledged. In particular the authors express their thanks to the Chairmen and to members of Committees 4 and 14 of CIGRE who first emphasised the necessity for a joint study and subsequently assisted with the work.

The authors are particularly grateful to Mr.M. Holleville who provided the translations into French and to their respective organisations for providing the secretarial, meeting and printing facilities. The many individuals in different countries who have provided invaluable help with the various stages of the report are too numerous to list individually, but their assistance is gratefully acknowledged.

The permission of the International Electrotechnical Commission, the International Telecommunications Union, the United States of America Standards Institution and the British Standards Institution to reproduce selected definitions from their publications is gratefully acknowledged. The permission of the American Telephone and Telegraph Co. to reprint in Section A3.4 material from B.S.T.J. is gratefully acknowledged.

The members of the Working Group are listed below : -

Chairman R. E. Martin (GB)

Members for Committee No. 4 (Protection)

Leader of Group F. L. Hamilton (GB)
 M. Pétard (F)
 G. Dienne (B)

Members for Committee No. 14 (Telecommunication)

Leader of Group A. de Quervain (CH)
 E. Sailer (I)
 E. Alsleben (D)
 M. Holleville (F)

PRÉAMBULE AUX ANNEXES

Les Annexes qui suivent donnent des informations complémentaires sur certains domaines particuliers traités dans les Sections précédentes du Rapport. Les informations données dans ces Annexes constituent un supplément, destiné à ceux qui désirent approfondir tels ou tels aspects. Il faut remarquer toutefois qu'une partie de ces informations est en rapport avec des concepts plus généraux des télécommunications qui peuvent, pour l'instant, ne pas intéresser directement la téléprotection. Néanmoins, des développements plus poussés sur ces questions, et sur d'autres, peuvent être trouvés dans les références de la Bibliographie.

FOREWORD TO APPENDICES

The following Appendices give additional information in some specific areas of the previous sections of the report. The information given in the Appendices is supplementary and is intended to assist those who wish to look at certain aspects in greater detail. However, it is emphasised that some of this information is concerned with the broader concepts of telecommunication, which, as yet, may not have particular significance to teleprotection. Still further information on these and other aspects can be obtained from the references given in the Bibliography.

ANNEXE A 1

A 1. THEORIE DE LA TRANSMISSION

Pour acquérir une connaissance sommaire de la relation qui lie la rapidité demandée et la largeur de bande d'un canal, il est nécessaire d'énoncer brièvement certains des concepts qui sont à la base de la théorie de la transmission. Cet exposé évitera, dans toute la mesure du possible, de faire appel à des notions mathématiques.

Depuis longtemps, les ingénieurs des télécommunications ont constaté qu'il existe une relation entre la rapidité de transmission des messages et la largeur de bande des canaux sur lesquels ceux-ci sont transmis. Jusqu'en 1945 on admettait généralement, sur la base d'une étude théorique de Hartley, qu'il était impossible qu'un message, contenant éventuellement de la redondance et présentant une largeur de bande donnée, puisse être transmis sur un canal de largeur de bande inférieure. A la suite des travaux de Shannon, Wiener et quelques autres, on s'aperçoit maintenant que dans ce cas comme dans d'autres, les idées reçues en matière de transmission de l'information étaient bien souvent incomplètes ou erronées.

L'information sous certaines formes, telles que la parole, contient de nombreux éléments qui sont redondants et peut supporter d'être privée de certains de ces éléments (p. ex. suppression de sons, distorsion etc...) sans perdre l'essentiel de son contenu. Ceci s'explique par le fait que l'information perdue est, soit totalement redondante, soit reconstituée à la réception par le cerveau de l'interlocuteur en fonction du contexte de l'information manquante.

D'un autre côté, on peut considérer que la "transmission de données", dont la transmission de signaux de protection est un cas particulier, ne comporte que peu ou pas de redondance. Le système de transmission peut, s'il est ainsi conçu, ajouter de la redondance à l'information dans le but de corriger ou de détecter les erreurs, mais celle-ci est supprimée à la réception de sorte que l'utilisateur n'en est pas conscient.

A.1.1. - Signification de l'information

Pour celui qui émet, la quantité d'information transmise par un message se mesure par l'étendue du choix dont il dispose. Pour celui qui reçoit, l'information se mesure par l'incertitude (exprimée mathématiquement) quant au message qui aurait pu être envoyé. Ces idées sont développées en A 1.2 ci-dessous. La vitesse à laquelle l'information peut être envoyée se mesure par le nombre des variantes, à la disposition de l'expéditeur, qui pourraient être envoyées par seconde. Plus la quantité d'information qui peut être envoyée est grande, plus le choix des messages qui peuvent être transmis est grand. Toutefois, il ne faut pas confondre l'information avec la signification, car sur deux messages de même contenu informationnel, l'un peut avoir un sens, et l'autre en être dépourvu, ce qui revient à dire que les aspects sémantiques de la transmission ne sont pas applicables à celle-ci lorsqu'il s'agit de la technique de la transmission.

A 1.2 - Vitesse de la source, capacité du canal et codage

Un système de transmission peut se décomposer en :

- (a) Une source d'information (contact d'un relais de commande, téléimprimeur, microphone, etc...)
- (b) Un équipement émetteur

APPENDIX A 1

A 1. COMMUNICATION THEORY

In order to have some understanding of the relationship between the required speed and the bandwidth of a channel, it is necessary to describe briefly some basic concepts of communication theory. The treatment is, as far as possible, non-mathematical.

For a long time, communication engineers have recognised that there is a relation between the speed of transmitting messages and the bandwidth of the channels over which messages are sent. Up to 1945 it was generally accepted, on the basis of some theoretical work of Hartley, that it was impossible for a message, possibly containing redundancy and covering a given bandwidth, to be sent over a channel of lesser bandwidth. Due to the work of Shannon, Wiener and others, it is now appreciated that in this and other instances, the accepted ideas on communication were, in many cases, incomplete or wrong.

Some forms of communication such as speech contain much information which is redundant and may suffer loss of some information, e.g. missing sounds, distortion, etc., without losing the essential intelligence. This is because the lost information is either redundant in the first place, or is supplied at the receiving end by the listener's brain in relation to the context of the missing information.

On the other hand, "data transmission", of which protection signalling is a special case, may be considered to contain little or no redundancy. The communication system may, if so specified, add redundancy to the information for the purpose of correcting or detecting errors but this will be removed at the receiver so that the user is unaware of it.

A 1.1. - The Meaning of Information

For the sender, the amount of information conveyed by a message is measured by the degree of choice available to the sender. For the receiver, information is measured by the uncertainty (expressed mathematically) as to what message may have been sent. These ideas are elaborated in A 1.2 below. The rate at which it is possible to send information is measured by the number of alternative messages, available at the sender, that might be sent per second. The greater the amount of information that can be sent the greater the choice of messages which can be conveyed. However, information should not be confused with meaning because for two messages of equal information content, one can be meaningful and the other gibberish, i.e. semantic aspects of communication are irrelevant to communication when applied to engineering.

A 1.2 - Source Rate and Channel Capacity and Coding

A communication system can be divided into :

- (a) Information source (initiating relay contact, teleprinter, microphone, etc.).
- (b) Transmitting equipment

(c) Un canal de transmission

(d) Un équipement récepteur.

Les systèmes de transmission peuvent être de deux sortes : discrets ou continus. Dans un système discret, un nombre fini seulement de valeurs différentes de courant ou de tension, (niveaux) peut être envoyé. Le nombre de niveaux peut varier de deux, comme dans la télégraphie ordinaire, jusqu'à un nombre élevé (un signal analogique peut être quantifié en 127 niveaux ($2^7 - 1$) par un système P.C.M. à 7 digits. Lorsque le nombre des niveaux est infini, le système est continu.

Du bruit peut pénétrer dans les systèmes de transmission pratiques et, s'il est assez important, entraîner la réception de niveaux erronés dans les systèmes discrets. Dans les systèmes continus, le bruit agit constamment sur le signal de sorte que le signal reçu diffère d'une façon aléatoire du signal émis.

Il est nécessaire de pouvoir définir quantitativement la quantité d'information qui peut être émise par une source (vitesse de la source) et combien d'information le canal peut transmettre (capacité du canal). Il est également important de savoir combien d'information se perd à cause du bruit et d'estimer la quantité d'information reçue. C'est ce problème que Shannon a traité entièrement dans sa "théorie mathématique de la transmission".

Le problème est essentiellement statistique en ce sens que nous pouvons définir un événement dans lequel un message, sur plusieurs messages possibles, est émis. Chacun des différents messages pourrait être émis mais on suppose que le choix est aléatoire. Tout ce que l'on connaît est la probabilité du choix de chacun de ces messages possibles.

Lorsque l'on veut définir la quantité d'information associée à chaque message, il est raisonnable d'admettre que lorsque deux messages sont émis, l'information totale est la somme de l'information contenue dans chacun des messages. Mais la probabilité pour que les deux messages soient transmis s'obtient en multipliant l'une par l'autre les probabilités pour que chaque message se présente seul. Ceci suggère une relation logarithmique entre l'information et la probabilité.

Shannon utilise une telle définition et arrive à la formule suivante :

$$\sum_{i=1} p(x_i) \log_2 \frac{1}{p(x_i)}$$

pour l'information moyenne par message émis par la source. C'est ce que l'on appelle souvent l'"entropie" de la source.

La base des logarithmes est arbitraire. Si l'on choisit la base 2, l'unité d'information est le "Bit" (abréviation de BInary digiT) alors que c'est l'"unité naturelle" si la base choisie est e.

Dans un système de transmission, un message pris dans un ensemble de messages possibles x_1 est émis, alors qu'un message pris dans un autre ensemble de messages y_1 est reçu. Les ensembles x et y ne sont pas nécessairement les mêmes en raison du bruit superposé à la transmission. La probabilité composée pour que x soit émis et y reçu est notée $p(x, y)$.

Il est également nécessaire de considérer deux autres probabilités. Supposons qu'un observateur, qui peut voir à la fois l'émetteur et le récepteur, sache que x_1 a été émis. Alors la probabilité de l'événement conjoint x_1 et y_1 est maintenant plus grande que $p(x, y)$ parce que l'observateur a levé certaines incertitudes sur la situation globale. La probabilité de y_1 s'écrit maintenant $p_x(y)$. (L'observateur est imaginaire mais cela permet quand même de discuter de $p_x(y)$.) De même si l'observateur sait que y_1 est reçu, la probabilité pour x_1 ait été émis sera notée $p_y(x)$.

Il y a donc quatre expressions, semblables à celle de l'entropie de la source, qui font usage des quatre probabilités discutées ci-dessus. Ce sont :

Entropie de la source $H(x) = \sum_{(x)} p(x) \log_2 \frac{1}{p(x)}$

(c) Communication channel

(d) Receiver equipment

Communication systems can be of two kinds, discrete or continuous. In a discrete system, only a finite number of different current or voltage values (levels) can be sent. The number of levels may vary from two as in normal telegraphy up to a large number (e.g. an analogue signal can be quantized to 127 levels ($2^7 - 1$) by a 7 digit P.C.M. system). When the number of levels is infinite, the system is continuous.

Noise can enter practical communication systems and if severe enough it can cause incorrect levels to be received in discrete systems. In continuous systems, the noise is continuous with the signal so that the receiver signal differs in a random manner from the transmitted signal.

It is necessary to be able to define quantitatively the amount of information which can issue from a source (source rate) and how much information the channel can carry (channel capacity). It is also important to know how much information is lost due to the noise and to assess the amount of the received information. It is this problem that Shannon has treated exhaustively in his Mathematical Theory of Communication.

The problem is essentially statistical in that we can define an event in which one of several possible messages is sent. Any of the possible messages may be sent but it is assumed that the choice is random. All that is known is the probability of choosing each of the several possible messages.

When defining how much information is associated with each message, it is reasonable to assume that when two messages are sent, the total information is the sum of the information associated with each message individually. But the probability of both messages being transmitted is obtained by multiplying together the probabilities of each message occurring alone. This suggests a logarithmic relation between information and probability.

Shannon uses such a definition and arrives at the following formula :

$$\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 \frac{1}{p(x_i)}$$

for the average information per message sent from the source. This is often called the "Entropy" of the source.

The base for the logarithms is arbitrary. Choice of 2 for the base gives units of information in "bits" (abbreviation for Binary digITS) whilst choice of e gives "natural units".

In a communication system, one of a set of possible messages x_i is sent whilst one of another set of messages y_i is received. The sets x and y may not necessarily be the same because of added noise. The joint probability of x being sent and y being received is written $p(x, y)$.

It is also necessary to consider two other probabilities. Suppose an observer who can see both sender and receiver knows that x_i was sent. Then the probability of the joint event x_i and y_i is now greater than $p(x, y)$ because the observer has removed uncertainties about the total situation. The probability of y_i is now written $p_x(y)$. (This observer is fictitious, but that still allows discussion of $p_x(y)$.) Similarly, if the observer knows that y_i is received, the probability that x_i was sent is written $p_y(x)$.

There are thus four expressions similar to entropy of the source using the four probabilities just discussed. These are :

Entropy of the source

$$H(x) = \sum_{(x)} p(x) \log_2 \frac{1}{p(x)}$$

$$\begin{aligned} \text{Entropie au récepteur} & \quad H(y) = \sum_{(y)} p(y) \log_2 \frac{1}{p(y)} \\ \text{Entropie du bruit} & \quad H_x(y) = \sum_{(x)} \sum_{(y)} p(x, y) \log_2 \frac{1}{p_x(y)} \\ \text{Equivocation} & \quad H_y(x) = \sum_{(x)} \sum_{(y)} p(x, y) \log_2 \frac{1}{p_y(x)} \end{aligned}$$

avec :

$p(x)$: probabilité du message émis

$p(y)$: probabilité du message reçu

$p(x, y)$: probabilité de l'occurrence simultanée des deux symboles $x - y$

$p_x(y)$ } probabilités conditionnelles comme définies ci-dessus.
 $p_y(x)$ }

L'équivocation mesure l'incertitude moyenne relative à ce qui a été émis lorsque le signal reçu est connu.

Shannon donne un exemple montrant comment la vitesse de la source doit être adaptée pour tenir compte de la perte d'information due au bruit. Considérons un canal télégraphique binaire, où les deux états binaires soient équiprobables, et capable d'une vitesse de transmission de 10^3 bits/seconde (bauds). Supposons que le bruit pendant la transmission entraîne une erreur de 1 % c'est-à-dire que 1 % des états binaires sont inversés par le bruit. On pourrait dire que la vitesse de réception de l'information est de 990 bits/seconde, mais ceci est incorrect car le destinataire ne sait pas où sont les erreurs. La vitesse de réception correcte s'obtient en imaginant un système de transmission auxiliaire utilisé pour corriger complètement toutes les erreurs. Ce système pourrait être actionné par un opérateur imaginaire qui, comme précédemment, voit les deux extrémités émettrice et réceptrice, et envoie un digit de correction chaque fois qu'il constate une erreur.

Ainsi, deux messages sont disponibles dans le canal de correction : x_1 qui demande de corriger le digit et x_2 qui dit de ne pas corriger le digit. Si 1 % des digits sont supposés faux dans le canal principal, la probabilité de x_1 est 0,01 et la probabilité de x_2 est 0,99. Donc l'entropie d'un message dans le canal de correction (c'est-à-dire l'information moyenne par message) est :

$$0,01 \log_2 \frac{1}{0,01} + 0,99 \log_2 \frac{1}{0,99} = 0,081 \text{ bits}$$

Si le canal principal transmet à 1000 bits par seconde, le canal de correction transmet 81 bits par seconde en moyenne. Ceci est la quantité d'information nécessaire pour donner une réception correcte à 100 %, et c'est la quantité qui manque lorsqu'il n'y a pas de canal de correction, c'est-à-dire que c'est l'équivocation.

Donc la vitesse de réception de l'information est égale à la vitesse de la source moins l'équivocation soit :

$$1000 - 81 = 919 \text{ bits par seconde}$$

Le canal de correction est évidemment un artifice imaginaire et l'utilisateur du système pourrait se demander à quoi lui sert de savoir que la capacité du canal est de 919 bits/seconde et qu'il reçoit 1000 bits par seconde dont 1 % sont faux. La théorie de l'information énonce qu'il est inutile d'essayer de transmettre avec exactitude plus de 919 bits/seconde mais qu'avec une redondance convenable, il est possible de transmettre à cette vitesse avec une erreur infiniment petite. Les 81 bits/seconde restants doivent être employés à assurer l'exactitude des 919 bits/seconde utiles. Ceci implique l'emploi d'un système de codage ayant une redondance de près de 10 % c'est-à-dire que 10 % de la vitesse de transmission doit être utilisée pour le codage. Ce procédé peut être considéré comme l'adaptation statistique de la source à un canal dont les propriétés en fait de bruit sont connues.

Entropy at the receiver	$H(y) = \sum_{(y)} p(y) \log_2 \frac{1}{p(y)}$
Entropy of the noise	$H_x(y) = \sum_{(x)} \sum_{(y)} p(x, y) \log_2 \frac{1}{p_x(y)}$
Equivocation	$H_y(x) = \sum_{(x)} \sum_{(y)} p(x, y) \log_2 \frac{1}{p_y(x)}$

where

$p(x)$ - probability of the transmitted message

$p(y)$ - probability of the received message

$p(x, y)$ - probability of joint occurrence of two symbols $x - y$

$p_x(y)$ } - conditional probabilities discussed above
 $p_y(x)$ }

The equivocation measures the average uncertainty about what was sent when the received signal is known.

Shannon gives an example showing how the source rate must be adjusted for loss of information caused by noise. Consider a binary telegraph channel having equiprobable marks and spaces and with a transmission rate of 10^3 bits/second (bauds). Assume that noise during transmission causes a 1 % error, i. e. 1 % of marks and spaces are reversed due to noise. One might say that the rate of reception of intelligence is 990 bits/second, but this is incorrect as the recipient does not know which are the errors. The correct rate of reception is obtained by imagining an auxiliary communication system to be used to correct completely all errors. This could be operated by a fictitious observer, who again sees both sent and received signals, and sends a correction digit each time he observes an error.

Thus there are two messages available in the correction channel : x_1 which says "correct this digit" and x_2 which says "do not correct this digit". If 1 % of digits are assumed in error in this main channel, the probability of x_1 is 0.01 and the probability of x_2 is 0.99. Therefore entropy of a message in the correction channel (i. e. the mean information per message) is

$$0.01 \log_2 \frac{1}{0.01} + 0.99 \log_2 \frac{1}{0.99} = 0.081 \text{ bits}$$

If the main channel is sending data at 1000 bits per second, the correction channel is sending 81 bits per second on average. This is the amount of information required to give 100 % correct reception, and is the amount not present when no correction channel exists ; i. e. this is the equivocation.

Hence, rate of information received = source rate - equivocation

$$1000 - 81 = 919 \text{ bits per second}$$

The correction channel is, of course, only an imaginary device, and a system user might well ask what is the use of knowing that the channel capacity is 919 bits/second and that he receives 1000 bits/second, with 1 % of them in error. Information theory states that it is useless to try to transmit accurately more than 919 bits/second, but that by suitable redundancy, it is possible to transmit at that rate with a vanishingly small error. The remaining 81 bits/second should be employed to secure the accuracy of the 919 useful bits/second. This means the use of a coding system having nearly 10 % redundancy, i. e. 10 % of signalling rate must be used for coding. This process may be considered as statistically matching the source to a channel of known noise properties.

Cet exemple s'est limité, pour simplifier les calculs, à une transmission binaire. Cependant, les systèmes à niveaux multiples conduisent à de plus grandes vitesses d'informations et à de plus grandes capacités des canaux. Il y a toutefois un désavantage car la marge d'erreur pour estimer le niveau qui a été envoyé est réduite d'une façon proportionnelle au nombre de niveaux utilisés. L'immunité au bruit est réduite à son tour dans le même rapport.

La capacité d'un canal C (non nécessairement binaire) peut maintenant être définie comme la plus grande vitesse à laquelle une information utile peut être transmise sur le canal en présence du bruit ambiant.

L'information utile transmise est l'information qui serait transmise en l'absence de bruit moins l'information perdue à cause du bruit, c'est-à-dire l'information utile transmise selon la vitesse de la source moins l'équivocation

$$\text{Donc} \quad C = \max. \left[H^1(x) - H_y^1(x) \right] \quad (1)$$

où $H^1(x)$ et $H_y^1(x)$ sont les vitesses des entropies correspondantes en bits/seconde.

Considérons un canal bruyant de capacité C , alimenté par une source d'information d'entropie $H(x)$ bits/seconde, l'entropie des signaux reçus étant $H(y)$ bits/seconde. La théorie de l'information de Shannon établit que si C est supérieur ou égal à $H(x)$, on peut, en réalisant les systèmes de codages appropriés, transmettre sur ce canal ce que fournit la source avec aussi peu d'erreurs qu'on le désire. Mais si la capacité du canal C est inférieure à $H(x)$, il est alors impossible de transmettre sans erreurs. Si compliqué que soit le système de codage, il restera toujours une équivocation supérieure ou égale à $H(x) - C$.

Dans le cas où le signal et le bruit sont indépendants et additifs, on peut montrer également que :

$$C = \max \left[H^1(y) - H_x^1(y) \right]$$

c'est-à-dire que la capacité est la valeur maximale de l'entropie totale au récepteur moins l'entropie du bruit.

Pour un canal continu, c'est-à-dire une transmission analogique et non digitale, de largeur de bande 0 à W Hz, on peut montrer que la vitesse de l'entropie pour un bruit blanc gaussien traversant ce canal est :

$$H^1(y) = W \log_2 2 \cdot e \cdot n$$

où n est la puissance moyenne du bruit.

Si un signal de puissance moyenne p est envoyé sur un canal affecté de bruit, l'entropie du signal reçu plus le bruit est :

$$H_x^1(y) = W \log_2 2 \cdot e \cdot (p + n) \quad (2)$$

et la capacité C du canal est :

$$C = H^1(y) - H_x^1(y) \quad (3)$$

$$= W \log_2 \frac{p+n}{n} \quad (4)$$

A 1.3 - Correspondance entre la largeur de bande (ou la vitesse de transmission) et le rapport signal/bruit

Comme il en a été discuté plus haut, pour une vitesse d'information donnée, le rapport signal/bruit peut être amélioré par l'emploi d'un système de modulation utilisant une largeur de bande plus grande que celle du message. Par exemple, dans un système à modulation de fréquence, on améliore le rapport signal/bruit de 6 dB pour chaque octave supplémentaire de largeur de bande.

Un canal binaire idéal, ayant une largeur de bande de W Hz est capable de transmettre l'information à une vitesse maximale de $2 W$ bits/seconde. Ceci revient à dire qu'un canal idéal de caractéristique passe-bas (largeur de bande $0 - f$ Hz) peut transmettre une

This example has been restricted to binary transmission to simplify the calculations. However, multi-level systems lead to higher information rates and to higher channel capacities. There is a penalty, however, in that the margin for error in deciding which level was sent is reduced in proportion to the number of levels used. This in turn reduces the immunity to noise in the same ratio.

The capacity of a channel C (not necessarily binary) can now be defined and is equal to the maximum possible rate at which useful information can be transmitted over the channel per second in the presence of associated noise.

Useful information transmitted is the information that would be transmitted if no noise were present minus the information lost due to the noise, i. e. useful information transmitted is the source rate minus the equivocation,

$$\text{therefore} \quad C = \max. \left[H^1(x) - H_y^1(x) \right] \quad (1)$$

where $H^1(x)$ and $H_y^1(x)$ are the rates of flow of the appropriate entropies in bits/second.

Consider a noisy channel of capacity C accepting from an information source of entropy $H(x)$ bits/second, the entropy of received signals being $H(y)$ bits/second. Shannon's theory of information states that, if C is equal to or larger than $H(x)$, then by devising appropriate coding systems, the output of the source can be transmitted over the channel with as few errors as desired. But if the channel capacity C is less than $H(x)$, then it is impossible to communicate without error. However sophisticated the coding process, there will always remain some equivocation equal to or greater than $H(x) - C$.

For the case of signal and noise being independent and additive, it is possible also to show that

$$C = \max. \left[H^1(y) - H_x^1(y) \right]$$

i. e. the capacity is the maximum value of the total entropy at the receiver minus the entropy of the noise.

For a continuous channel, i. e. for analogue signalling as opposed to digital, with a bandwidth 0 to W Hz, it can be shown that the entropy rate for white gaussian noise passed through such a channel is :

$$H_x^1(y) = W \log_2 2$$

where n = average noise power.

If a signal of average power p is sent over a channel with its noise the entropy of the received signal plus noise is :

$$H^1(y) = W \log_2 2 \cdot e (p + n) \quad (2)$$

and the channel capacity C is

$$C = H^1(y) - H_x^1(y) \quad (3)$$

$$= W \log_2 \frac{p + n}{n} \quad (4)$$

A 1.3 - The Exchange of Bandwidth (or Transmission Speed) for Signal-to-Noise Ratio

As we have discussed, for a given information rate, the signal-to-noise ratio may be improved by using a system of modulation which utilises a greater bandwidth than that of the message, e. g. in a frequency modulation system an improvement of 6 dB in signal-to-noise ratio is obtained for each additional octave of bandwidth.

An ideal binary channel having a bandwidth of W Hz is able to pass information up to a maximum speed of $2W$ bits/second. This is the same as saying that an ideal channel, having a low pass characteristic (bandwidth $0 - f$ Hz), is able to pass binary information at a speed

information binaire à une vitesse de $2 f$ bits/seconde. Des précisions sur les limites des possibilités des canaux réels sont données dans la Section 4.3.

Supposons que l'on ait à transmettre des données occupant une largeur de bande de transmission de $0 - f$ Hz avec une précision correspondant à quatre niveaux également espacés. (Cet exposé est extrait d'un article d'Oliver, Pierce et Shannon). Ce signal peut être transmis dans un canal de largeur de bande f Hz si le rapport signal/bruit est tel que les erreurs soient peu fréquentes. Considérons maintenant un canal de largeur de bande $0 - f/2$ Hz mais avec un rapport signal/bruit amélioré en sorte qu'avec 16 niveaux, le taux d'erreurs soit le même que dans le canal initial. Il est évident que ce canal a la même capacité que le premier. Envisageons maintenant une extension de la largeur de bande du canal à $0 - 2 f$ Hz. Dans ce cas, il suffirait de transmettre deux niveaux et d'envoyer le message à la même vitesse que dans le premier canal. Puisque ce canal n'a à discriminer que deux niveaux, il peut avoir un rapport signal/bruit corrélativement bas. Ainsi la largeur de bande a été augmentée aux dépens du rapport signal/bruit. Dans l'exemple choisi on est à la limite de l'augmentation de la largeur de bande car avec moins de deux niveaux on ne peut plus transmettre d'information. Les trois canaux ont la même capacité pour la transmission digitale et sont repris dans le tableau A 1 - 1

TABLEAU A 1 - 1

b = nombre de niveaux	m = $\log_2 b$	W = largeur de bande	s = données par seconde	C = sm
16	4	$1/2 f$	f	4 f
4	2	f	2 f	4 f
2	1	2 f	4 f	4 f

Il est nécessaire de considérer la relation qui existe entre le nombre de niveaux et le rapport signal/bruit. Supposons que les niveaux diffèrent d'une tension $K\sigma$, où K est une constante et σ la valeur efficace du bruit limité en largeur de bande comme le signal. Supposons que le bruit a une distribution de probabilité d'amplitude gaussienne (comme il est vraisemblable après une limitation de bande) :

$$P(> V) = \int_{\infty}^V \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (5)$$

La tension de bruit peut être positive ou négative de sorte que la probabilité pour que le bruit dépasse $+ V$ ou soit plus négatif que $- V$ est $2 P(> V)$.

Dans un système à niveaux multiples, le détecteur peut théoriquement être réalisé pour indiquer un niveau correct si le signal reçu est dans la marge de $\pm K\sigma/2$ par rapport au niveau correct. Puisque les systèmes à niveaux multiples utilisent plus de deux niveaux, ils sont pénalisés, en ce qui concerne le bruit, par rapport aux systèmes binaires. La comparaison exacte de systèmes différents est souvent peu commode, mais des valeurs approximatives peuvent être obtenues assez rapidement. En supposant que la tension de crête V est la même dans les deux cas à comparer, la pénalisation est tout simplement le rapport de la tolérance $\pm K\sigma/2$ dans les deux systèmes. Pour un système de niveau b relatif à un système binaire, elle s'exprime par $20 \log_{10} (b-1)$.

Quand le bruit dépasse $K\sigma/2$, il se produit des erreurs dans la transmission.

Il est ainsi possible, connaissant la distribution de la probabilité d'amplitude du bruit, de calculer pour différentes valeurs de K la probabilité d'erreurs dans la détection des niveaux. Si, en raison de la complexité des codeurs et des décodeurs, il est peu économique d'employer des codes présentant une redondance suffisante pour s'adapter au taux d'erreurs, il faut alors choisir K assez grand pour que le taux d'erreurs soit négligeable. Pour $K = 10$ un système par tout ou rien a une probabilité d'erreur de 10^{-6} et en augmentant K de 1,4 dB on réduit la probabilité d'erreur à 10^{-8} .

of $2f$ bits/second. Information about the limits of the capabilities of practical channels is given in Section 4.3.

Suppose that it is required to transmit data (this treatment is taken from an article by Oliver, Pierce and Shannon) in a transmission bandwidth of $0 - f$ Hz with an accuracy corresponding to four evenly spaced levels. This signal may be transmitted in a channel of bandwidth f Hz if the signal-to-noise ratio is such that errors are infrequent. Consider now a channel of bandwidth $0 - f/2$ Hz but with an appropriately better signal-to-noise ratio such that with 16 levels the error rate is the same as the original channel. Clearly this channel has the same capacity as the first channel. Consider now an expansion in bandwidth of the channel $0 - 2f$ Hz. In this case it would only be necessary to transmit two levels and to send the message at the same rate as the first channel. Since this channel has only to discriminate against two levels, it can have a correspondingly poor signal-to-noise ratio. Thus the bandwidth has been expanded at the expense of signal-to-noise ratio. In the example given, this is the limit of bandwidth expansion as less than two levels cannot transmit information. All three channels have identical capacity for sending digits and are summarised in Table A 1 - 1.

TABLE No. A 1 - 1

b = number of levels	$m = \log_2 b$	W = Bandwidth	s = Data/Sec.	C = sm
16	4	$1/2 f$	f	$4 f$
4	2	f	$2 f$	$4 f$
2	1	$2 f$	$4 f$	$4 f$

It is necessary to consider the relation between the number of levels and the signal-to-noise ratio. Suppose that the levels are separated by a voltage $K\sigma$ where K is a constant and σ is the r.m.s. noise voltage band limited in the same way as the signal. Assume that the noise has a gaussian amplitude probability distribution (as is likely after band limiting) :

$$P(> V) = \int_{-\infty}^V \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (5)$$

The noise voltage may be positive or negative so that the probability that the noise will exceed $+V$ or will be more negative than $-V$ is $2P(>V)$.

In the multi-level system the detector can theoretically be made to indicate the correct level if the received signal is within the tolerance $\pm K\sigma/2$ of the correct level. Since multi-level systems employ more than two levels, they incur a noise penalty with respect to binary systems. The exact comparison of different systems is often cumbersome, but approximate values can be found quite quickly. Assuming an equal peak voltage V for cases being compared, the noise penalty is merely the ratio of the tolerance $\pm K\sigma/2$ for the two systems. For a b -level system relative to a binary system it is $20 \log_{10} (b-1)$.

When the noise exceeds $K\sigma/2$, errors in transmission will occur.

It is thus possible, knowing the APD of the noise, to calculate for various values of K the probability of errors in level detection. If, owing to complexity of encoders and decoders, it is uneconomic to use codes having the requisite amount of redundancy to match the error rate, then K must be large such that the error rate is negligible. For $K = 10$ an on-off system has an error probability of 1 in 10^6 , increasing K by 1.4 dB reduces the error probability to 1 in 10^8 .

ANNEXE A 2

A 2 - SECURITE DE FONCTIONNEMENT - PROBABILITE ET ANALYSE STATISTIQUE

On prête, depuis quelques années, une attention accrue à la sécurité de fonctionnement des systèmes. Dans la recherche d'une approche quantitative du sujet, utilisant les concepts probabilistes, la sécurité de fonctionnement a été définie comme étant la probabilité pour que le système en question accomplisse les fonctions pour lesquelles il est prévu, pendant une période donnée. Dans un système de téléprotection, on spécifierait séparément les deux probabilités, celle de donner une commande correcte et celle d'être affecté de commandes intempestives. Il est également important d'être précis en parlant des défaillances d'un équipement. La défaillance d'un élément se produit lorsqu'il n'est plus capable de remplir son rôle, à l'intérieur de limites préalablement définies. La défaillance d'un système peut généralement être attribuée à la défaillance d'un des éléments qui le composent. Une défaillance peut être causée par une faiblesse inhérente à l'élément lui-même, ou par un mauvais emploi, par exemple un dépassement des niveaux autorisés. La défaillance peut s'établir progressivement et être décelable par un examen préventif, ou être soudaine, ce qui rend impossible, en pratique, de prédire le moment où elle se produira, ou encore être une défaillance d'une des fonctions seulement, et dans des circonstances particulières. L'importance de la défaillance peut-être, ou ne pas être, telle que la modification des caractéristiques de l'élément le rende complètement inutilisable. Les défaillances dites "catastrophiques" sont à la fois soudaines et totales. Les défaillances d'"usure" sont progressives et partielles.

Une approche probabiliste du problème s'est révélée fructueuse, dans des limites assez grossièrement définies. Cela veut dire que, dans des conditions données, on peut en principe donner un chiffre exprimant la probabilité pour qu'un élément soit défaillant pendant une période donnée. On peut alors appliquer les lois des probabilités à des éventualités complexes, et être en mesure de prédire la défaillance d'un système selon différentes modalités. Il faut noter que le nombre total des défaillances observées est habituellement très faible, de sorte qu'il existe de grandes incertitudes statistiques. Les taux de défaillance observés et calculés ne peuvent raisonnablement concorder qu'avec une marge d'erreur importante, mais néanmoins utilisable.

A 2.1 - Coordination de la sécurité de fonctionnement des sous-ensembles et de la sécurité de fonctionnement globale (systèmes doubles et triples)

Il est souvent difficile d'accroître la sécurité de fonctionnement d'un sous-ensemble au-delà d'un certain point. Par contre il peut être faisable d'améliorer la sécurité de fonctionnement du système de façon sensible par l'usage de "redundance", en ajoutant un ou plusieurs sous-ensembles. Ainsi, s'il existe deux circuits de téléprotection indépendants, agissant tous deux sur un organe donné du réseau et capables de provoquer individuellement le fonctionnement ou le déclenchement souhaités en cas de défaut de puissance, un des circuits peut être défaillant, l'autre assurera cependant la protection. D'un autre point de vue, le risque d'un fonctionnement intempestif est maintenant accru car chacun des deux circuits peut indiquer un défaut non-existant, et provoquer un fonctionnement ou un déclenchement intempestifs.

Pour pousser l'analyse de ce point, il faut faire la distinction entre les deux formes de défaillance qui ont respectivement pour conséquence un fonctionnement intempestif et une commande défaillante. Dans le premier cas, un ordre de déclenchement ou de verrouillage est donné alors que le réseau est sain. Dans le second cas, l'ordre de déclenchement ou de verrouillage ne serait pas donné alors qu'un défaut sur le réseau le nécessiterait. Il faut

APPENDIX A 2

A 2 - RELIABILITY - PROBABILITY AND STATISTICAL ANALYSIS

Increasing attention has been paid in recent years to the reliability of systems. In the attempt to approach the subject quantitatively, using probability concepts, reliability has been defined as the probability of the system in question performing its specified function for a given time. In a teleprotection system both the functions of achieving correct operation and of withstanding undesired false operation would be specified individually as probabilities. It is also important to be precise when considering the failure of equipment : failure of any item occurs when it loses the ability to perform its function within previously stated limits. Failure of a system can generally be attributed to failure of an item in it. A failure may be caused by an inherent weakness of the item itself, or it may be due to misuse, i. e. stressing beyond permissible levels. The failure may develop gradually and be anticipated by prior examination or be sudden so that in practical circumstances the moment of its occurrence is unpredictable, or it may be a failure of one of its functions under certain circumstances. The degree of failure may or may not be such that the deviation of the characteristics of the item would render it completely useless. So-called "catastrophic failures" are both complete and sudden : "degradation failures" are gradual and partial.

A probabilistic approach to the subject has been found successful within broad limits. That is to say that, under given conditions, a figure can in principle be quoted for the probability that an item will fail during a certain time. The laws of probability can then be applied to complex eventualities, allowing predictions to be made for the failure of a system in different modes. It should be noted that the total numbers of observed failures are commonly very small, so that there are large statistical uncertainties. Agreement between observed and predicted failure rates is therefore only to be expected within large, but still useful tolerances.

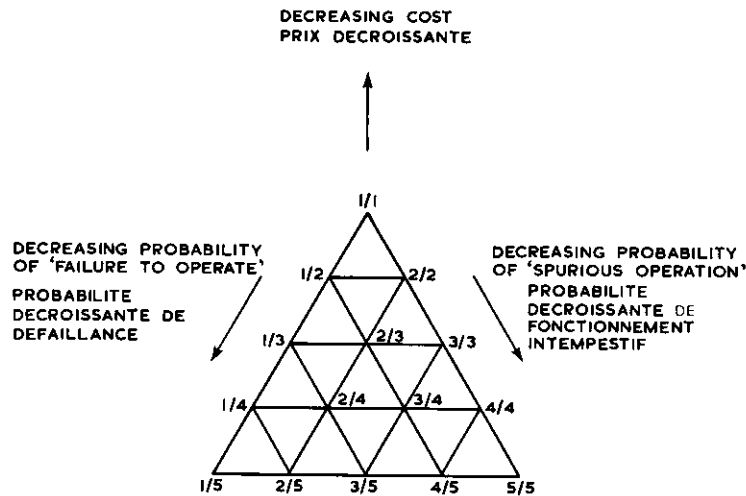
A 2.1 - Co-ordination of reliability of sub-assemblies and overall reliability (dual and triple systems)

It is often not practicable to increase the reliability of a sub-assembly beyond a certain point. It may still be possible to improve system reliability markedly by the use of 'redundancy' - introducing one or more extra sub-assemblies. Thus if there are two independent teleprotection circuits, both monitoring a given power plant item and each separately capable of initiating a wanted operation or trip in the event of a power plant fault, one circuit can fail and the other will still provide protection. On the other hand, there is now an increased danger of a spurious tripping operation because either circuit can wrongly indicate a non-existent fault, resulting in unwanted operation or false tripping.

To analyse this further, we must distinguish the two modes of failure which result in unwanted operation and failure to operate when required respectively. In the first mode, a tripping or blocking signal is given for a safe power system situation ; in the second mode, no tripping or blocking signal would be given if a power system fault situation arose requiring this action. It should be noted that the effect of spurious operation may differ widely as

noter que les conséquences d'une action intempestive peuvent être très différentes selon qu'il s'agit de systèmes de télédéclenchement ou d'interdéclenchement d'une part, ou de systèmes de protection conditionnels, à verrouillage ou à accélération d'autre part. Il faut fixer pour les sous-ensembles des taux de défaillance différents pour les deux types de défaillances et il est alors possible de prédire pour le système global, (a) la fréquence des fonctionnements intempestifs, et (b) la probabilité pour que le système soit dans un état tel qu'il ne fonctionne pas si le besoin s'en faisait sentir. (Ces deux caractéristiques doivent avoir une expression différente, car un fonctionnement intempestif se signale de lui-même, alors qu'un fonctionnement défaillant ne peut être normalement mis en évidence que par la maintenance).

Les systèmes à redondance visent à accroître la sécurité de fonctionnement en fournissant plusieurs moyens pour accomplir la même fonction. Dans les systèmes de sécurité, il est courant d'utiliser la redondance partielle généralement connue sous le nom de "n parmi m" (n/m). Parmi m moyens identiques, n au moins doivent indiquer une situation dangereuse sur le réseau protégé pour que soient prises des mesures de protection. Si n moyens ou plus sont défaillants et indiquent faussement un ordre de déclenchement, il se produira un fonctionnement intempestif. Si $m - n + 1$ moyens sont défaillants et risquent d'entraîner un fonctionnement défaillant lorsqu'il serait nécessaire, le réseau protégé sera potentiellement dans une situation dangereuse. Le diagramme triangulaire, dû à Buzacott, représenté à la fig. A 2-1 figure de façon commode les mérites respectifs de différents systèmes n parmi m (n/m).



Annexe A2.1 - Redondance et sécurité de fonctionnement

D'après : J.A. BUZACOTT, Reliability of systems within service repair. Ph. D. Thesis University of Birmingham, March 1967

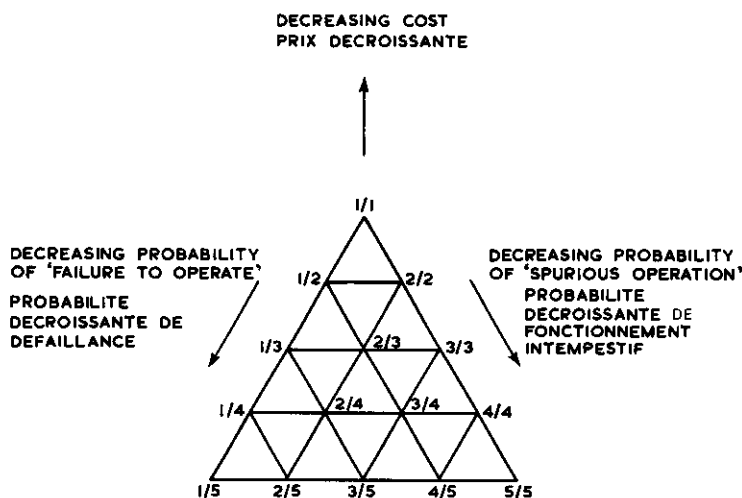
J.A. BUZACOTT, A.H. Weaving and T.A.W. Low Trans. Soc. Inst. Tech., June 1967, p. 72

Chaque point de croisement représente un système n/m. 1/1 est un système unitaire non-redondant. Les lignes horizontales représentent des systèmes de même complexité (m) et chaque point de croisement sur une de ces lignes représente le nombre croissant (de gauche à droite) des systèmes unitaires requis pour qu'un ordre soit donné. Le coût de l'immobilisation et de la maintenance croît proportionnellement à m. La probabilité de "fonctionnement défaillant" décroît le long des obliques descendantes de même n (par ex : 1/1, 1/2, 1/3, ... ou 3/3, 3/4 ...). Les obliques descendant vers la droite (p. ex : 1/2, 2/3, 3/4 ...) indiquent la probabilité décroissante de défaillance conduisant à un fonctionnement intempestif.

Par exemple un système à 2 parmi 4 peut être considéré comme ayant des caractéristiques convenables en ce qui concerne les "fonctionnements défaillants" mais est relativement coûteux. Le système suivant à essayer serait un 2 parmi 3 puisque, d'après le diagramme, on peut voir qu'un système 1 parmi 3 serait insuffisant eu égard aux "fonctionnements intempestifs", et que le système 2 parmi 3 apporte la plus faible variation de performances en ce qui concerne les "fonctionnements défaillants".

between teletripping and intertripping (transfer tripping) systems on the one hand and blocking, permissive and acceleration type protection systems on the other hand. Different failure rates must be assigned to sub-assemblies for the two modes of failure, and predictions can then be made for the overall system in terms of (a) the frequency of unwanted operation, and (b) the probability of being in a state where it would not operate if required to do so (the two characteristics must be expressed differently, since an unwanted operation is self-advertising, while failure to operate is normally only detected during servicing).

Redundant systems aim at increasing reliability by providing more than one means of achieving the same desired function. In the safety systems it is usual to employ partial redundancy generally referred to as n out of m (n/m). Out of m identical means at least n must give indications of dangerous conditions within the protected power system to initiate protective action. If n or more means fail in such a way that they indicate erroneously a command to trip "Unwanted Operation" i.e. a spurious trip will occur. If $m - n + 1$ means fail so that the protection will "Fail to Operate" when required, the protected system will be in a potentially dangerous state. A triangle diagram, after Buzacott, as shown in Fig. A 2.1, can conveniently represent the merits of different n out of m (n/m) systems.



Appendix A2.1 - Redundancy and reliability

After : J. A. BUZACOTT. Reliability of Systems Within Service Repair. Ph. D. Thesis University of Birmingham. March 1967

J. A. BUZACOTT. A.H. Weaving and T. A. W. Low Trans. Soc. Inst. Tech., June 1967, p 72

Every cross-over point represents an n/m system. $1/1$ represents a non-redundant system of a basic unit. The horizontal lines represent systems of the same complexity (m) and each cross-over on the same line from left to right the increased number of units required to initiate a trip. The maintenance and capital costs of the protective system increase proportionately as m increases. The probabilities of "failures to operate" decrease along the downwards slant lines of the same n , i.e. $1/1$, $1/2$, $1/3$... or $3/3$, $3/4$ etc. The lines slanting downwards to the right e.g. $1/2$, $2/3$, $3/4$... indicate the decreasing probabilities of "Spurious Operation" failures.

For example, a 2 out of 4 system may be considered to have adequate characteristics against "Failures to Operate" but be rather expensive. The next design to be tried would be a 2 out of 3 design, since from the diagram, it can be seen that a 1 out of 3 design would have too poor an "Unwanted Operation" performance and the 2 out of 3 system has the smallest change in "Failure to Operate" performance.

A 2.2 - Exigences concernant la sécurité de fonctionnement des équipements de protection et des liaisons de téléinformation

Comme on l'a montré à la Section 1.2 et à la figure 1.1, la relation fonctionnelle qui lie les grandeurs du réseau, les appareils de protection, la liaison de téléinformation assurée par le système de transmission et le disjoncteur (qui a son tour agit sur les grandeurs du réseau) se présente comme une boucle fermée dont le gain est couramment de 10^{10} ou 100 dB.

Le système de protection dispose, d'une façon tout à fait générale, de télécommunications grâce auxquelles il prend des décisions et ordonne certaines actions. L'urgence du message dépend du temps disponible pour accomplir le cycle de collecte des informations, transmission, calcul, décision et action. Dans la technique des protections, ce temps est de l'ordre de quelques fractions de seconde.

Il apparaît important que les ingénieurs des protections et des télécommunications quantifient leurs exigences pour un système de téléprotection donné, en ce qui concerne la sécurité de fonctionnement, la rapidité, les retards admissibles et les erreurs non détectées. Cela doit être fait sans perdre de vue les propriétés des autres éléments de la boucle fermée globale. Il serait sans objet de concevoir un système de téléprotection qui présente une sécurité de fonctionnement plus grande, ou moindre, à plusieurs ordres de grandeur près, que celle du disjoncteur qu'il commande. D'une manière analogue, la sécurité de fonctionnement du disjoncteur lui-même doit être au moins aussi grande que celle de la ligne ou de tout autre ouvrage qu'il commande.

L'utilisateur, dans ce cas l'ingénieur des protections, devrait être capable de dire que la liaison de téléinformation est "bonne" ou "merveilleuse" ou inversement "pas trop mauvaise" ou "déplorable". Pratiquement, les déficiences de la liaison de téléinformation ne doivent pas, à la limite, être plus graves que celles des autres éléments de la boucle où la décision est prise.

Comme on dispose actuellement de fort peu de renseignements quantitatifs sur les propriétés constructives des disjoncteurs concernant la probabilité d'un fonctionnement défaillant (ou incorrect), il est difficile de chiffrer, même approximativement, les performances que l'on veut se fixer pour la protection et les liaisons de téléinformation. Néanmoins, il semble qu'il vaille la peine d'encourager les utilisateurs de téléprotections à essayer de quantifier les grandeurs les plus importantes qui sont :

(a) Retard maximal admissible (T_D)

Valeur maximale du temps d'interruption de la transmission qui permette encore au dernier stade du cycle de décision d'intervenir en temps utile.

(b) Probabilité d'un retard excessif (P_D)

Probabilité qui peut être acceptée pour que, lorsque la protection requiert la transmission d'informations, le retard dépasse T_D , c'est-à-dire que pour l'activité du réseau soit affectée par l'impossibilité de communiquer avant qu'il ne soit trop tard. P_D dépend de la conception du système et de la disponibilité des liaisons qu'il comporte. (La liaison de téléinformation peut être partagée ou utilisée pour d'autres besoins).

(c) Chance pour qu'une erreur ne soit pas détectée (P_E)

C'est l'inverse du nombre moyen des bits utilisables transmis avant qu'un bit erroné ne passe dans le système sans être détecté.

P_E est exprimé comme une proportion sur le nombre de bits du message de protection. Il dépend du taux d'erreurs non détectées du système de transmission, mais ce n'est pas la même quantité.

Les quantités P_D et P_E sont essentielles pour l'utilisateur. L'incapacité de transmettre le message assez tôt, mesurée par P_D , a pour résultat un manque, c'est-à-dire qu'une décision nécessaire n'a pas été obtenue. La corruption du message, mesurée par P_E , entraîne une erreur plus ou moins nuisible et a éventuellement pour conséquence une action incorrecte.

L'ingénieur qui conçoit le système de télécommunications a besoin, en outre, d'informations concernant les points suivants :

(d) L'itinéraire suivi par une information donnée entre son point de départ et son point d'arrivée.

A 2.2 - Reliability requirements of protective equipment and information links

As shown in Section 1.2 and Fig. 1.1, the functional inter-relationship between the power system quantities, the protection apparatus, the information link provided by the telecommunication system and the circuit-breaker (which in turn influences the power system quantities) is in the form of a closed loop having a gain typically of 10^{10} or 100 dB.

The protection system is provided, in the broadest sense, with communications whereby it makes decisions and initiates some actions. The urgency of the message depends on the time allowable for completion of a cycle of collection of information, communication, calculation, decision and action. In the protection technique, the times are of the order of fractions of seconds.

It seems important for the protection and telecommunication engineers to quantify the requirements for specific teleprotection systems insofar as reliability, speed, permissible delays and undetected errors are concerned. This has to be done in relation to the properties of the other devices in the overall closed loop. It would be pointless to engineer a teleprotection system that is many orders more or less reliable than the circuit-breaker which it controls. Similarly the reliability of the circuit-breaker itself needs to be at least as high as the line or other plant which it controls.

The user, in this case the protection engineer, should be able to say that the information link is "good" rather than "marvellous" or, on the other hand "not too bad" or "shocking". In practice the shortcomings of the information link must be at least no worse than those of other elements in the decision-making loop.

As very little quantitative information is at present available on the designed properties of circuit-breakers insofar as the probability of failure to operate (or of incorrect operation) is concerned it is difficult to attach even estimated figures to the target performance to be expected of the protection and information links. Nevertheless, it seems worthwhile encouraging the teleprotection user to try to quantify the most important terms which are :

(a) Maximum permissible delay (T_d)

The longest hold-up due to interruption of communication which will still permit the final action in the decision cycle to be in time to be useful.

(b) Probability of excessive delay (P_d)

The permissive probability that when the protection requires to send information the delay will exceed T_d ; that is the power companies' activities will be impeded by failure to communicate before it is too late. P_d depends on the system design and the availability of its component links. (The information link may be shared or in use for other purposes).

(c) Chance of an undetected error (P_e)

The inverse of the average number of user bits transmitted before a wrong bit passes through the system without detection.

P_e is expressed as a proportion of the bits in the protection message. It is dependent on the undetected error rate on the telecommunications system, but is not the same quantity.

Quantities P_d and P_e are crucial to the user. Failure to pass the message soon enough, measured by P_d , causes a miss, i. e. some decision was wanted but not obtained. Corruption of the message, measured by P_e , causes a mistake of greater or lesser nuisance value and perhaps, in consequence, an error in the subsequent action.

The telecommunication system designer needs further information concerning, for example, the following :

(d) The route taken for the particular information from a "source" to a "sink".

(e) Le contenu du message, nombre de bits (qui dépend de la précision exigée du système), contenu informationnel, etc...

(f) Temps de transmission acceptable par l'utilisateur (T_T)

Temps dont dispose la protection pour envoyer et recevoir le message,

(g) Rapidité de la transmission

Cette quantité découle du contenu du message et du temps de transmission acceptable. Elle fixe une limite inférieure à la vitesse de transmission utilisée dans le système de télécommunication. La vitesse de transmission sur la liaison sera toujours plus élevée en raison de la nécessité de la détection d'erreurs et éventuellement du partage en temps avec d'autres utilisateurs.

(h) Espacement des messages

C'est la durée minimale entre les instants initiaux de messages successifs ayant le même usage. Cette quantité est nécessaire pour traiter du partage en temps de l'équipement et de la capacité de transmission des liaisons de téléinformation.

(i) Messages par an

Nombre moyen de messages donnant le niveau de trafic moyen utilisé pour la détermination de P_p et P_g ci-dessus.

Les utilisateurs de téléprotections devraient donc être encouragés à estimer le nombre acceptable de défaillances de la téléprotection, et le nombre de fonctionnements erronés qu'ils peuvent admettre dans une période donnée, sans perdre de vue qu'il n'est pas possible de réaliser un système parfait et qu'il ne sert à rien de rendre son fonctionnement plus sûr que celui des autres organes, tels que le disjoncteur.

Ce n'est qu'en utilisant de tels chiffres, basés sur une estimation rationnelle des besoins réels de l'utilisateur que le système de téléprotection pourra être conçu pour que son fonctionnement ait une qualité donnée.

(e) The contents of the message, number of bits (depending on required system accuracy, information content, etc.).

(f) Permissible user transmission time (T_p)

How long is available for the protection to send and receive the message ?

(g) Transmission rate

This quantity is derived from the message content and the permissible transmission time. It sets a lower limit to the transmission speed used in the telecommunication system. The telecommunications transmission rate will always be higher because of the need for error detection and possibly of time sharing with other users.

(h) Time of next message

The minimum time between the desired starting times of successive messages for the same use. This enables time sharing of equipment and traffic capacity of information links to be considered.

(i) Messages per year

The average number of messages giving the mean traffic level used in determination of P_D and P_E above.

The users of teleprotection therefore should be encouraged to make an assessment of the acceptable number of teleprotection failures and the number of false operations they can accept in a given period, bearing in mind that a perfect system is unattainable and that there is no point in making the performance better than that of the other elements such as the circuit-breaker.

Only by the application of such figures based on a rational estimate of the actual needs of the user can the teleprotection system be designed to provide a stated level of performance.

ANNEXE A 3

A3 - TRANSMISSION DIGITALE DE DONNEES

De nombreux systèmes de protection exigent la transmission de données de forme "tout ou rien" ou "à deux états". Dans ce cas, il est possible de traiter le problème des canaux de télécommunications sur la base de la transmission digitale de données. Ce concept de transmission digitale de données s'applique particulièrement à l'emploi de codes pour la transmission de signaux de protection (voir Section 3.1 et Annexe A1). Quelques précisions sur les techniques de transmission digitale de données sont apportées ici en raison des relations qui les unissent à la transmission des signaux de protection.

A3.1 - Conversion analogique - digitale

En vue de leur transmission selon un code binaire, les grandeurs électriques analogiques sont converties en caractères digitaux au moyen d'un convertisseur analogique - digital (C.A.D.). C'est un dispositif électronique statique qui produit, à grande vitesse, un caractère en code binaire représentant la grandeur d'entrée analogique. Par raison d'économie, il est courant d'appliquer séquentiellement un certain nombre de signaux analogiques au C.A.D. Les C.A.D. modernes peuvent convertir en digital un signal toutes les 20 microsecondes environ, ce qui pourrait permettre d'appliquer les avantages de la transmission digitale aux protections du type à comparaison.

A3.2 - Largeur de bande, vitesse et multiplexage

Dans un système de téléprotection codé de façon digitale et envoyant un ordre unique (de déclenchement ou de verrouillage), la vitesse de signalisation doit être plus élevée que dans le cas où l'on envoie un simple signal par tout ou rien, parce que l'information est codée sous forme d'un mot. Le processus de décodage peut, toutefois, être conçu de façon à réduire les effets du bruit qui risquent d'entraîner un fonctionnement intempestif, et, à condition que la voie de transmission ait une largeur de bande convenable, le temps global peut être suffisamment réduit pour convenir au système de protection.

Etant donné un canal parfait, de largeur de bande B Hz, la vitesse de signalisation maximale théorique en binaire est de $2 B$ bauds. En pratique, la vitesse est réduite par la distorsion due au retard de groupe et par d'autres imperfections du milieu de transmission. Actuellement on peut atteindre des vitesses de signalisation (en bauds) qui ont pour valeur de 0,3 à 1 fois la largeur de bande disponible (en Hz).

A3.3 - Codes du type à redondance, détection des erreurs et correction

La transmission digitale se prête à l'introduction de systèmes compliqués permettant de reconnaître les signaux en présence de bruit, et à la régénération des trains d'impulsions aux répéteurs. Etant donné que la conversion en digital des formes d'onde vocales est largement employée maintenant pour la transmission téléphonique par P.C.M., il semble vraisemblable que les mêmes techniques seront également appliquées dans les systèmes de protection lorsque cela se révélera avantageux.

Tous les canaux de télécommunications sont soumis à une certaine probabilité de perturbation qu'une conception soignée peut réduire (mais non éliminer). Ces perturbations peuvent être volontaires, accidentelles, ou dues à des causes naturelles telles que la foudre. Les

APPENDIX A 3

A3 - DIGITAL DATA TRANSMISSION

Many protection systems require the transmission of on-off or "two-state" data. In such cases it is possible to consider the telecommunication channels on a digital data transmission basis. The concept of digital data transmission is convenient when considering the use of codes for the transmission of protection signals (see Section 3.1 and Appendix A1). Some brief details of digital data transmission techniques are included because they are relevant to protection signalling.

A3.1 - Analogue-to-Digital Conversion

For binary coded transmission, analogue electrical quantities are converted to digital characters by means of an analogue-to-digital converter (A.D.C.). This is a static electronic device which, at high speed, produces a binary coded character representing the analogue input. In the interest of economy it is usual to apply sequentially a number of analogue signals to the A.D.C. Modern A.D.C.'s can digitise a signal every 20 or so micro-seconds which could enable the advantages of digital transmission to be applied to comparison types of protection.

A3.2 - Bandwidth, Speed and Multiplexing

In a digitally coded teleprotection system sending a single command (to trip or to block), the speed of signalling has to be higher than would be the case if a simple on-off signal were sent because the information is encoded into a word. The decoding process may, however, be designed to reduce the effect of noise in producing unwanted operation and, providing the information link has an appropriate bandwidth, the overall time can still be made fast enough for the protection system.

Given a perfect channel of bandwidth B Hz the theoretical maximum binary signalling speed is $2B$ bauds. In practice the speed is reduced by group delay distortion and other imperfections in the transmission path. Presently attainable signalling speeds (in bauds) correspond to between 0.3 and 1.0 times the available bandwidth (in Hz).

A3.3 - Redundancy Type Codes, Error Detection and Correction

Digital transmission lends itself to the introduction of sophisticated systems enabling recognition of signals in the presence of noise and to the re-generation of pulse trains at repeaters. Since digitisation of speech waveforms for P.C.M. telephone network transmission is now being widely applied, it seems likely that such techniques will also be used in protection systems where advantages can be obtained.

All communication channels are subject to some probability of interference which can only be reduced (but never eliminated) by careful design. The interference may be deliberate, accidental or from natural causes such as lightning. Interference can corrupt the characters

perturbations peuvent corrompre les caractères arrivant au récepteur. Chaque caractère, ou groupe de caractères peut être transformé en un code auto-analysable, de sorte qu'à la réception il soit accepté ou rejeté selon le résultat de cette analyse. Un artifice simple, connu sous le nom de "contrôle de parité" consiste en l'adjonction d'un digit (dit digit de parité) à la fin du caractère, digit qui est choisi de façon à donner un nombre impair de "un" dans le caractère. Si un digit est inversé ("zéro" au lieu de "un" ou réciproquement) le nombre total de "un" deviendra alors pair et le caractère sera automatiquement rejeté. Les digits de parité sont ajoutés par le codeur dont la sortie module directement l'émetteur du canal.

Un perfectionnement du contrôle des erreurs par un simple bit de parité consiste à utiliser deux ou plus de deux bits de parité. L'information est encore divisée en blocs et les digits de parité contrôlent alors différentes combinaisons des digits porteurs de l'information à l'intérieur du bloc. De cette façon, chaque digit d'information est vérifié par plusieurs digits de parité. Ainsi une double erreur, alors qu'elle échappe au contrôle par un des digits de parité est révélée par les autres. A titre d'exemple, on peut imaginer l'information divisée en groupes de 105 digits. Un digit de parité contrôle une suite de digits espacés de trois en trois, un autre une suite d'espacement cinq et un autre encore une suite d'espacement sept. Il y a trois suites d'espacement trois, cinq d'espacement cinq et sept d'espacement sept. Il faut donc quinze digits de parité, ce qui porte à 120 le nombre de digits du bloc à transmettre. Ce système peut détecter au minimum 20 erreurs dans un bloc. Il a le désavantage d'exiger un système de décodage assez complexe pour vérifier simultanément les quinze digits de parité.

Un autre perfectionnement fait usage des codes dits "cycliques". L'information est toujours divisée en blocs qui entrent digit par digit dans un registre dont la capacité est égale au nombre de digits de parité à créer. A chaque digit qui entre, les digits présents sont décalés d'un rang (il y a évidemment un digit qui sort à l'autre extrémité). La parité est alors calculée pour une combinaison de ces digits et du prochain digit à entrer. Le digit de parité qui en résulte entre alors dans le registre (à la place du nouveau digit). Ainsi, lorsque l'ensemble du bloc d'information a été traité de cette manière, le registre contient un ensemble de digits qui présentent une relation complexe avec les digits d'information. On peut obtenir, au prix de quelques digits de parité supplémentaires, d'excellentes propriétés de détection des erreurs. Un registre à 15 digits peut être employé pour vérifier 256 digits d'information. Les taux d'erreur, sur circuit téléphonique, sont réduits de quatre ordres de grandeur. Le gros avantage de ce système est qu'il est facile à mettre en oeuvre.

En principe, tous ces systèmes de codage (à l'exception de la parité simple) peuvent être utilisés soit pour détecter un certain nombre d'erreurs dans un bloc d'information soit pour en corriger un nombre plus faible. Lorsque les erreurs sont détectées dans un système permettant la transmission bilatérale, il est possible de demander une nouvelle transmission du bloc défectueux. Ceci constitue un système de correction d'erreurs très efficace. L'information doit être gardée en mémoire après la transmission, à l'extrémité émettrice, pendant un temps égal au temps de propagation à l'aller, augmenté du temps de décodage et du temps de propagation au retour.

Lorsqu'il est demandé de corriger les erreurs sans que l'on dispose d'une transmission en retour, il est possible de déterminer, d'après les digits de parité ayant indiqué des défauts, quels sont les digits erronés (et comment les corriger) à condition qu'il ne soient pas trop nombreux. Pour ce faire, il est nécessaire d'accroître le pourcentage des digits utilisés pour le contrôle de parité. Dans un certain système, chaque digit est suivi d'un digit de parité qui a été calculé à partir d'un grand nombre des digits d'information antérieurs. Un tel système n'impose pas de diviser l'information en blocs. Son principal désavantage est que des erreurs groupées doivent être suivies par des périodes importantes de transmission dépourvue d'erreurs afin de recalibrer le système de décodage. Sur les circuits téléphoniques, les erreurs ne sont réduites que de deux ordres de grandeur car cette condition n'est généralement pas remplie.

A3.4 - Effet de la subdivision des canaux sur la vulnérabilité au bruit -

Il y a trois grandes catégories de bruits auxquels un système peut être exposé. Ce sont :

- 1) Le bruit aléatoire qui n'est localisé ni en temps ni en fréquence

arriving at the receiver. Each character, or group of characters, can be made into a self-analysing code so that at the receiving end it can be either accepted or rejected as the result of the analysis. A simple artifice known as a "parity check" comprises an additional digit (known as a "parity bit") at the end of the character which is chosen to give an odd number of "ones" in the character. If one digit is reversed (i. e. 1 becomes a 0 or a 0 becomes a 1) the total number of ones will then be even and the character will be automatically rejected. The parity digits are added by the encoder, the output of which directly modulates the channel transmitter.

An elaboration of the single parity bit error control system is to use two or more parity bits. Data is again divided into blocks and the parity digits then check different selections of the data digits within the block. In this way each data digit is checked by several parity digits. Thus a pair of errors, whilst escaping detection with one of the parity checks, shows up in the others. As an example of such a scheme, imagine data divided into groups of 105 digits. Every third digit is checked by one parity digit, every fifth by another and every seventh by another. There are three sequences for every fifth and seven for every seventh. Thus 15 parity digits are required, making a total block for transmission of 120 digits. This system can detect at least 20 errors within one block. Its disadvantage is that the decoding system to check all fifteen parity digits simultaneously is rather complex.

Another elaboration of the system uses the so-called cyclic codes. Data is again divided into blocks and fed digit by digit into a store which has a capacity equal to the number of parity bits that are to be generated. As each digit is fed in, the existing digits are moved down one position. (One, of course, is lost from the far end.). Parity is then calculated for a selection of these digits together with the next incoming digit. The resulting parity digit is then fed into the store (instead of the new data digit). Thus when the whole data block has been dealt with in this manner, the store contains a set of digits which are related in a complicated manner with the data digits. Very good error detection properties may be obtained for only a few extra parity digits. A 15 digit store can be used to check 256 data digits. Error rates on telephone lines are reduced by four orders of magnitude. The big advantage of this system is that it is easily implemented.

In principle, all these coding schemes (with the exception of single parity) may be used either to detect a number of errors in a block of data or to correct a smaller number. When errors are detected by a transmission system which can communicate in both directions, it is possible to request a retransmission of the faulty block. This gives a very useful error correction system. Data must be stored at the sending end after transmission for a time equal to the propagation delay in the forwards direction plus the decoding time plus the propagation time in the return direction.

When error correction is required without a return transmission facility, it is possible to determine, from which parity checks showed faults, which digits were in error (and how to correct them) provided there are not too many. To do this, it is necessary to increase the percentage of digits which are used for parity. In one scheme, every digit is followed by a parity digit which has been calculated from a large number of the previous data digits. Such a scheme does not involve dividing data into blocks. The main disadvantage is that groups of errors must be followed by considerable periods of error free transmission to reset the decoding system, and on telephone lines errors are reduced by only about two orders of magnitude because this condition is not usually fulfilled.

A3.4 - Effect of Channel Subdivision on Vulnerability to Noise

There are three broad categories of noise to which the system may be exposed. These are :

- 1) Random noise which is not localised in time or frequency.

- 2) Le bruit impulsif qui est très localisé dans le temps mais couvre un large spectre de fréquences
- 3) Le bruit de fréquence pure qui est très localisé en fréquence mais dure un temps appréciable (ou couvre un nombre non négligeable de bits).

Imaginons deux systèmes, A utilisant une bande de fréquences unique, et B divisé en dix canaux. Il en résulte que les impulsions du signal, qui ont une durée unité dans le système A, ont une durée de 10 unités dans chaque canal du système B.

Le bruit aléatoire ayant une distribution spectrale uniforme et une puissance W dans chaque canal de B, atteint une puissance de $10 W$ dans le système A. La puissance des signaux qui est de P dans chaque canal de B atteint $10 P$ pour l'ensemble du système. Si l'on utilise une puissance $10 P$ dans le système A, les deux systèmes sont à égalité du point de vue de rapport signal/bruit pour ce type de bruit.

Pratiquement le système B doit être capable de transmettre des signaux d'une puissance supérieure de quelques dB à celle correspondant à $10 P$, pour tenir compte de l'effet de crête résultant par moments d'un déphasage relatif défavorable entre les différents canaux. Donc le système B, à canaux multiples, est en réalité défavorisé de cette petite quantité par rapport au système A. Elle peut être de 3 à 4 dB pour 10 ou 12 canaux.

Il y a des cas où la diaphonie avec d'autres transmissions impose le niveau admissible pour le signal. Il peut se faire que la concentration du signal sur une seule porteuse aggrave cet effet perturbateur par rapport à celui d'un système à porteuses multiples. Dans de tels cas, le système A peut être pénalisé de quelques dB par rapport au système B.

Le bruit impulsif présente une corrélation entre les phases de ses composantes spectrales. Ainsi une impulsion parasite d'amplitude N dans chaque canal du système B donne une amplitude de $10 N$ dans le système A, soit 20 dB de plus. D'un autre côté, à un signal d'amplitude S dans chaque canal du système B correspond une amplitude en valeur efficace de $\sqrt{10S}$ ou de 10 dB de plus, dans le système total (plus une correction pour tenir compte des crêtes, qui peut être positive ou négative comme on l'a vu).

Ainsi, le système à canal unique A est désavantagé de 10 dB, moins la correction pour les crêtes, par rapport au système B.

Une autre correction peut être nécessaire car un bruit impulsif qui affecte les dix canaux de B, soit 10 bits, peut n'affecter qu'un seul bit de A. Cette correction dépend du groupement en mots adopté pour les bits. On peut la négliger si les 10 bits de B appartiennent au même mot et si, dans un mot, une erreur sur 10 bits n'est pas pire qu'une erreur sur un bit.

Le bruit de fréquence pure se place à l'extrémité opposée de la gamme par rapport au bruit impulsif. La vulnérabilité d'une impulsion du signal au bruit de fréquence pure varie avec la relation existant entre la fréquence du bruit et celle de la porteuse du signal dans la bande de transmission utilisée.

On peut s'attendre à ce que le mécanisme de sensibilité au bruit dans un canal individuel soit à peu près le même, que le canal soit étroit ou large. Ainsi, le mécanisme de sensibilité que l'on observe dans le canal unique du système A se répète pour chaque canal du système B à une échelle de fréquences dix fois plus fine. Le rapport signal/bruit nécessaire dans un quelconque des canaux de B reste le même que pour A.

Dans le système B, chacun des dix canaux doit fournir un dixième seulement de la puissance du canal unique de A (moins la correction pour les crêtes qui, comme précédemment, peut être positive ou négative). Ainsi chacun des dix canaux de B est de 10 dB (plus la correction de crête) plus vulnérable au bruit de fréquence unique que le canal simple de A.

 La section A3.4 a été extraite de l'article suivant :
 P. Merz et D. Mitchell "Transmission Aspects of Data Transmission Service using Private Line Voice Telephone Channels".

Bell System Technical Journal 36, 1957 pp 1451 - 1486
 Copyright, 1957, American Telephone and Telegraph Co.,
 reproduit avec autorisation.

- 2) Impulse noise which is highly localised in time but covers a broad frequency spectrum.
- 3) Single-frequency noise, which is highly localised in frequency but which lasts a significant time (or substantial number of bits).

We can assume two systems, A used as a single-frequency band, and B divided into ten channels. Correspondingly, therefore, signal pulses of unit duration over system A, are of 10 units duration in each channel of system B.

Random noise having uniform spectral distribution, and power W in each channel of system B, cumulates to power $10 W$ in system A. Signal power P in each channel of system B cumulates to $10 P$ for the total system. If signal power $10 P$ is used in system A, the two systems are at a stand-off in signal-to-noise ratio for this type of noise.

In practice, the power capacity to handle the signals for system B must be made a few dB higher than indicated by $10 P$ to allow for occasional peaking caused during instants of unfavourable phasing among the various channels. Thus, the multichannel system B is really worse off, by that small amount, than system A. This may amount to some 3 or 4 dB in ten or twelve channels.

There are occasions where crosstalk into other facilities sets the level permitted for the signal. It may be that concentration of the signal onto a single carrier aggravates this interference, as compared with that from a multi-carrier signal. In such cases system A may be penalised by a few dB, as compared with system B.

Impulse noise shows correlation among the phases of its spectral components. Thus a noise pulse of voltage amplitude N in each channel of system B, cumulates to voltage amplitude $10 N$ in system A or 20 dB greater. On the other hand, a signal of amplitude S in each channel of system B, cumulates to an r. m. s. voltage amplitude $\sqrt{10 S}$, or 10 dB greater, over the total system (plus a peaking correction which may be positive or negative as just mentioned).

Thus, the single channel A system is at a disadvantage of 10 dB, less the peaking adjustment, with respect to the B system.

A further adjustment may be needed, because a single noise peak that affects all 10 channels of B, or 10 bits, may affect only one bit of A. This adjustment depends upon the word grouping of bits which is used. It may be neglected if all the 10 bits of B are in the same word, and if, in one word, an error of 10 bits is effectively no worse than an error of 1 bit.

Single-frequency noise lies at the opposite extreme of the gamut from impulse noise. The vulnerability of a signal pulse to single-frequency noise varies according to the relationship between the frequencies of the noise and of the signal carrier in the utilised signal band.

The pattern of sensitivity to noise over an individual channel can be expected to be about the same for a narrow-band as for a wide-band channel. Thus the pattern of sensitivities in the single channel of system A is repeated in each channel of system B on a 10 times finer frequency scale. The required signal-to-noise ratio in any one channel of B remains the same as that for A.

In system B each of the ten channels must put out only one tenth of the power of the single channel of system A (less than correction for peaking which as before may be positive or negative). Thus any one of the ten channels of B is 10 dB (plus a peaking correction) more vulnerable to single frequency noise than the single channel of A.

 Section A3.4 is taken from the following reference :
 P. Merz and D. Mitchell "Transmission Aspects of Data Transmission Service using Private Line Voice Telephone Channels".

Bell System Technical Journal 36, 1957, pp. 1451 - 1486
 Copyright, 1957, the American Telephone and Telegraph Co.,
 reprinted by permission.

Il faut noter qu'il peut se faire, en certaines circonstances, que le bruit de fréquence unique soit stable et de longue durée. Dans un tel cas, le système B à canaux multiples peut présenter un avantage, en permettant d'abandonner le seul canal affecté et d'utiliser les canaux restants dans des conditions entièrement libres de ce genre de bruit. Ceci, bien entendu, réduit la vitesse de transmission globale.

Pour résumer cette discussion et la ramener sur un plan philosophique plus général, on peut dire qu'il y a avantage à subdiviser le signal de la façon qui le rend le plus différent possible du type de bruit auquel il a des chances d'être le plus exposé. Si le bruit prédominant se compose d'impulsions de courte durée, le signal le plus avantageux consiste en impulsions de longue durée avec multiplexage en fréquence. Si le bruit consiste en fréquences pures de plus longue durée, le signal le plus avantageux se composera d'impulsions très courtes avec multiplexage dans le temps.

It must be noted that there are occasional special circumstances where the single frequency noise may be persistent and steady. The multi-channel system B may in such cases have an advantage in permitting the one channel affected to be dropped, and the others to be worked entirely free from this interference. This, of course, reduces the total bit rate.

To summarise the discussion in a general philosophical way, it can be said that there is advantage in multiplexing the signal in the manner that makes it as different as possible from the type of noise to which it is expected to be the most exposed. If the predominant noise is in short duration pulses, the most advantageous signal is in long duration pulses with frequency discrimination multiplex. If the noise is in longer duration single frequencies, the most advantageous signal is in very short pulses with time discrimination multiplex.

ANNEXE A 4

A 4 - SYSTEMES DE COUPLAGE POUR COURANTS PORTEURS SUR LIGNES D'ENERGIE

Le matériel de couplage pour courants porteurs permet d'injecter des signaux à fréquence porteuse sur les lignes d'énergie à haute tension avec de faibles pertes, dans une large bande de fréquences, tout en assurant la protection de l'équipement CPL contre les surtensions. Normalement, le matériel de couplage est conçu pour ne pas être influencé par l'impédance mal définie du poste.

Il existe deux méthodes de couplage bien distinctes : la première est très généralement employée dans le monde entier, la seconde, bien qu'elle ne soit pas encore utilisée, a récemment soulevé l'intérêt et fait l'objet d'études.

La première méthode utilise un condensateur de couplage, présentant les qualités voulues de tenue à la tension, pour acheminer les courants à haute fréquence vers la ligne d'énergie. Un dispositif, connu sous le nom de "circuit-bouchon" est inséré dans la ligne d'énergie entre le point de raccordement du condensateur et le poste. Ce circuit-bouchon consiste essentiellement en un circuit anti-résonant.

La seconde méthode consiste à disposer parallèlement à la ligne d'énergie un conducteur d'une longueur égale au quart de la longueur d'onde correspondant à la fréquence centrale choisie. Cette méthode rend inutile l'emploi d'un circuit-bouchon, comme il est dit à la Section A 4.2.

A4.1 - Systèmes de couplage conventionnels

Le condensateur de couplage et le circuit-bouchon sont réalisés de façon à constituer une demi-cellule de filtre passe-bande. La figure A4.1 donne un schéma simplifié du matériel de couplage dans le cas d'un couplage phase-terre. En cas de couplage interphase, on retrouve deux fois le même matériel. Le condensateur C 1 est un condensateur à haute tension d'une valeur de l'ordre de 2000 pF. L'inductance L 1 est réglée de sorte que L 1 et C 1 résonnent à la fréquence centrale choisie. Le circuit-bouchon est également accordé à cette même fréquence, la valeur de son inductance étant couramment de 100 à 200 μ H, selon le courant nominal prévu. Il existe des circuits-bouchons de 2 mH d'inductance (1,2), qui permettent de réaliser un couplage à large bande. Le condensateur C 3 a une valeur très supérieure à celle de C 1 et forme un diviseur de tension pour la mesure de tension à 50 Hz. On trouvera, dans les références 3 et 4 des informations complémentaires sur le matériel de couplage.

La figure A4.2 montre le schéma équivalent, en haute fréquence, du matériel de couplage. Le condensateur C 3 n'y figure pas, bien qu'il ait un léger effet sur la fréquence de résonance de L 1 et C 1. La largeur de bande est proportionnelle au produit du carré de la fréquence centrale par la capacité de couplage C 1. Il apparaît bien qu'un couplage à large bande requiert l'emploi d'un condensateur de couplage de valeur suffisante.

Les figures A4.3 (a) et (b) donnent les schémas détaillés de matériels d'usage courant.

A4.2 - Systèmes de couplage quart d'onde

Il existe deux formes de ce type de couplage, l'une mise au point par l'Ontario Hydro Board (5), l'autre par les Central Electricity Research Laboratories (6,7). La figure A4.4 montre l'essentiel du système de l'Ontario Hydro Board. Il se comporte comme un coupleur

APPENDIX A 4

A 4 - POWER LINE CARRIER COUPLING SYSTEMS

Carrier coupling equipment provides a means of injecting carrier signals onto high voltage power lines with a small loss over a wide carrier frequency band whilst protecting the H.F. equipment from overvoltage surges. Normally coupling equipment is intended to be immune from the uncertain impedance presented by the substation.

There are two distinct methods of coupling, the first is in common use throughout the world and the second although not employed as yet, has been the subject of recent interest and development.

The first method makes use of a coupling capacitor, with suitable voltage-withstand properties, to provide a high frequency path to the power line. A device, known as a "line trap" is connected in series with the power line between the point of connection of the capacitor and the sub-station. The line trap consists basically of a parallel tuned circuit.

The second method consists of a transmission line which runs parallel to the power line for a distance of a quarter of a wavelength corresponding to the chosen centre frequency. This method eliminates the line trap in a way which is described in Section A 4.2.

A4.1 - Conventional Coupling Systems

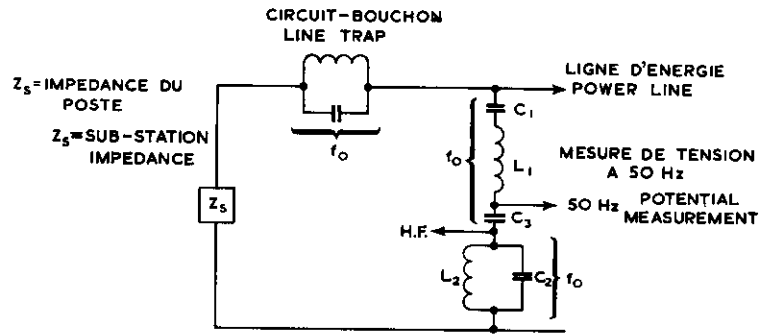
The coupling capacitor and line trap are made to form a π section bandpass filter. Fig. A4.1 shows a simplified circuit diagram of the coupling equipment for phase-to-earth injection. For phase-to-phase injection this is merely duplicated. Capacitor C1 is a high voltage capacitor having a value of the order of 2000 pF. Inductor L 1 is selected so that L 1 and C 1 resonate at the chosen centre frequency. The line trap is also resonant at the chosen centre frequency and may typically have a value of 100 - 200 μ H depending on the current rating. Line traps exist having values up to 2 mH_(1,2) and are used to obtain a wideband coupling. Capacitor C 3 has a value much greater than C 1 and forms a potential divider for 50 Hz potential measurement. Further information relevant to coupling equipment is given in references 3 and 4.

Fig. A4.2 shows an H.F. equivalent circuit of the coupling equipment. Capacitor C 3 has been omitted although it will have a small effect on the resonant frequency of L 1, C 1. The bandwidth is proportional to the product of the square of the centre frequency and the coupling capacity C 1. It is thus evident that wide band coupling requires the use of a large enough coupling capacitor.

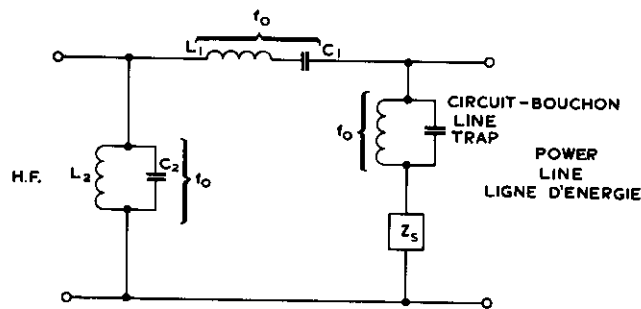
Figs. A4.3 (a) and (b) show full circuit diagrams of equipment commonly in use.

A4.2 - Quarter Wave Coupling Systems

There are two forms of this type of coupler, one developed by the Ontario Hydro Board⁽⁵⁾ and the other by the Central Electricity Research Laboratories^(6,7). Fig. A4.4 shows the essentials of the Ontario Hydro Board System. It behaves as a directional coupler and Z_0 is



Annexe A4.1 - Schéma simplifié d'un dispositif de couplage

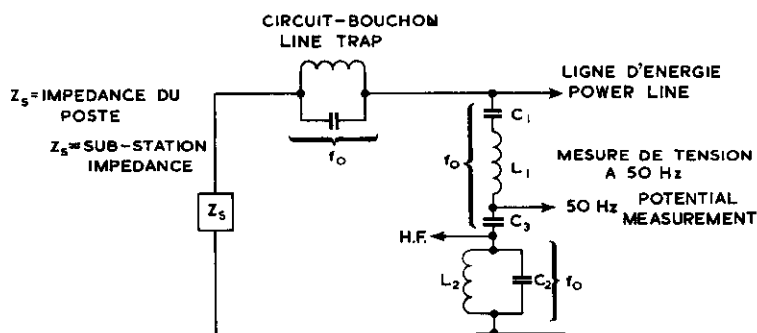


Annexe A4.2 - Equivalent HF du schéma de la fig. 1

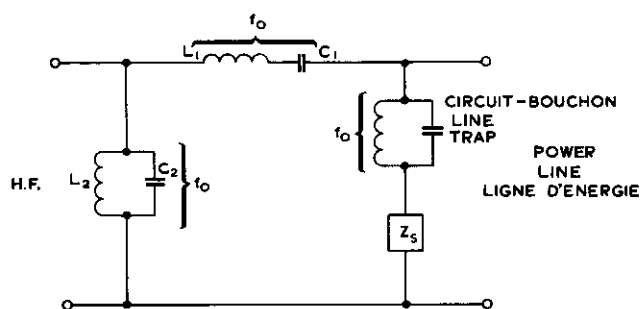
directionnel et Z_c est réglé pour obtenir un effet de direction maximal, la plus grosse part de l'énergie à fréquence porteuse étant envoyée vers le poste éloigné, et très peu vers le poste local. De cette façon, le circuit-bouchon devient inutile. Ce type de coupleur aurait une largeur de bande de 100 % de la fréquence centrale pour un affaiblissement de couplage d'environ 14 dB.

Le second type de couplage, mis au point par les Central Electricity Research Laboratories (6) dérive également d'un coupleur directionnel. La fermeture sur impédance réactive produit des réflexions multiples et il est ainsi possible de transférer toute l'énergie à fréquence porteuse à la ligne d'énergie. Toutefois ceci se fait aux dépens de la largeur de bande.

La figure A4.5 montre l'essentiel de ce système. Un court-circuit direct à la terre est placé à l'extrémité éloignée du coupleur et l'extrémité côté poste de la ligne d'énergie est court-circuitée par un circuit résonant. Ce circuit résonant constitue un circuit-bouchon shunt. La largeur de bande qu'il est possible d'obtenir avec ce type de coupleur est de 15 à 20 % pour un affaiblissement de couplage de 1 dB.



Appendix A4.1 - Simplified circuit diagram of coupling equipment

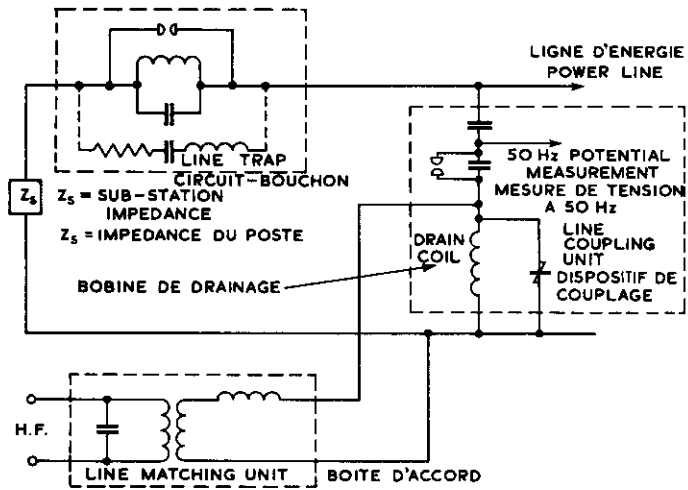


Appendix A4.2 - H.F. equivalent circuit of figure 1

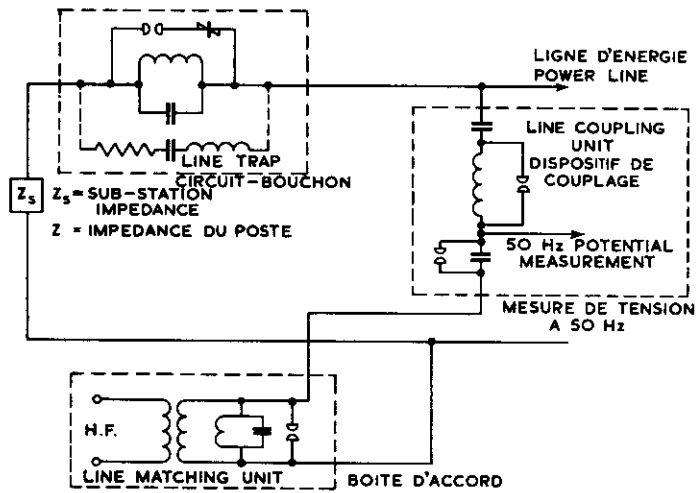
adjusted for maximum directionality thus directing most of the carrier energy to the remote station and little towards the substation. In this way, the line trap is eliminated. The bandwidth claimed for this type of coupler is 100 % of the centre frequency with a coupling loss of about 14 dB.

The second type of coupler, developed by the Central Electricity Research Laboratories, is also derived from a directional coupler. Reactive terminations are used to cause multiple reflections and thus it is possible to couple all the carrier energy onto the power line. This is done, however, at the expense of bandwidth.

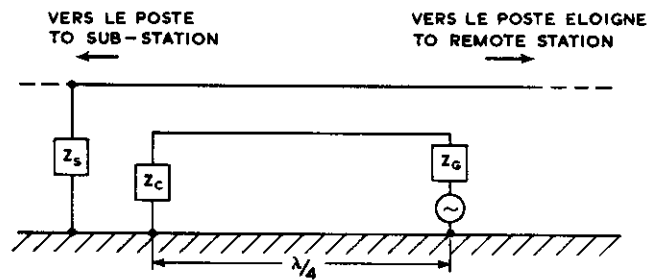
Fig. A4.5 shows the essentials of the system. A solid short-circuit to earth is placed on the remote end of the coupler and a resonant short-circuit to earth at the substation end of the power line. The resonant short-circuit forms a shunt line trap. The bandwidth obtainable for this type of coupler is 15 - 20 % for a coupling loss of 1 dB.



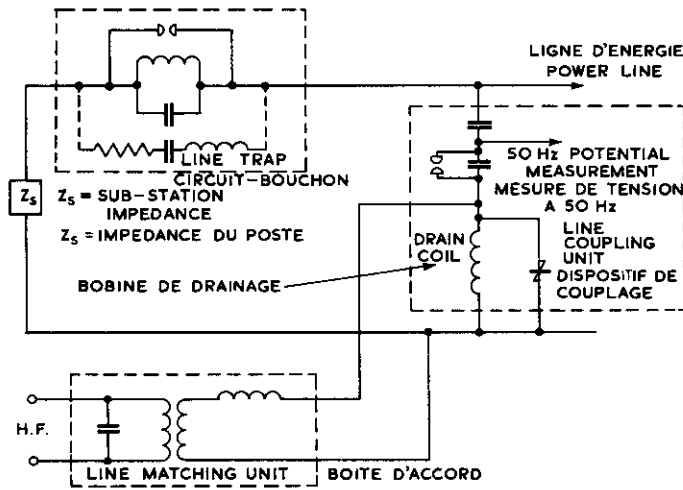
Annexe A4.3a - Dispositif de couplage pour courants porteurs



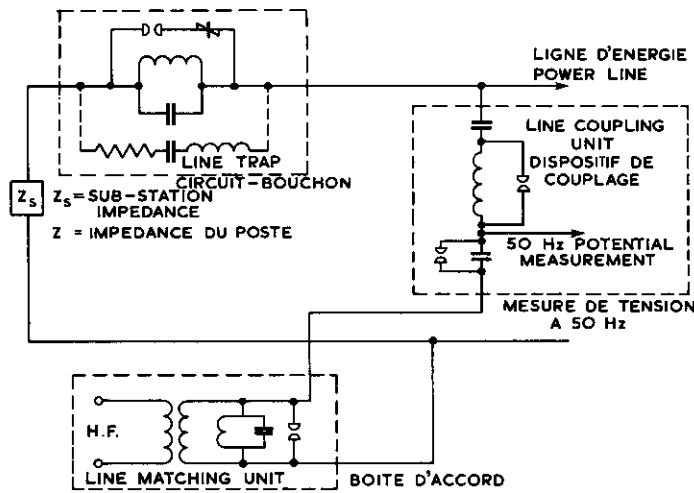
Annexe A4.3b - Dispositif de couplage pour courants porteurs



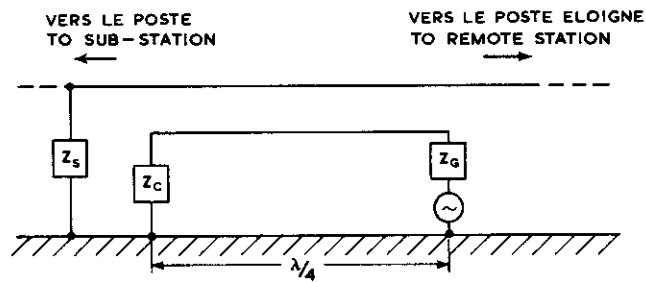
Annexe A4.4 - Coupleur directionnel de l'"Ontario Hydro"



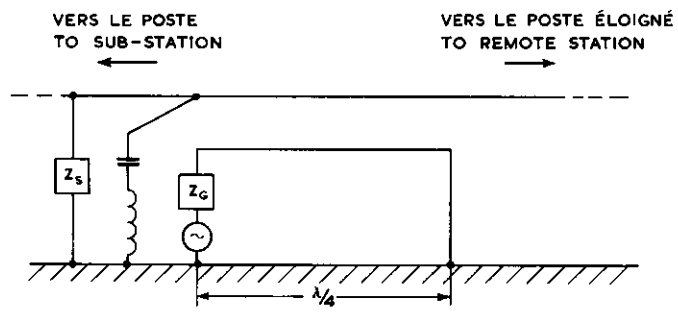
Appendix A4.3a - Carrier coupling equipment



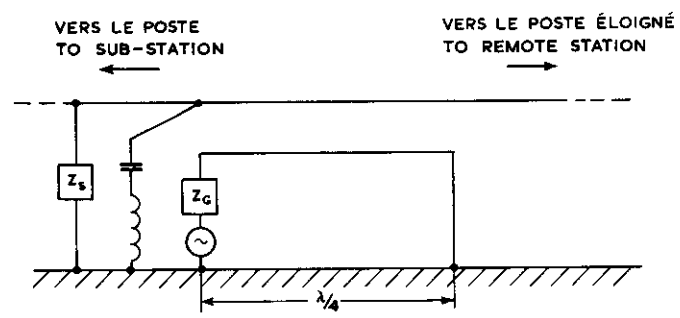
Appendix A4.3b - Carrier coupling equipment



Appendix A4.4 - Ontario Hydro directional



Annexe A4. 5 - Coupleur quart d'onde du C.E.R.L.



Appendix A4.5 - C.E.R.L. quarter wave coupler

REFERENCES - BIBLIOGRAPHIE

- 1 - H.K. Podszcek "Carrier Communication over Power Lines"
Springer - Verlag, 1963
- 2 - I.E.C. Committee No. 57 Recommendations for line traps
I.E.C. Committee No. 33 Coupling Capacitors
C.R.I. Comité n° 57 Recommandations pour les circuits-bouchons
C.E.I. Comité n° 33 Condensateurs de couplage
- 3 - CIGRE, Study Committee No. 14, July 1967 - *Comité d'Etudes n° 14, juillet 1967 :*
" Recommended Values for Characteristic Data of Power Line Carrier Current Equipment.
- 4 - CIGRE, Study Committee No. 14 - *Comité d'Etudes n° 14 :* Standardisation of Coupling
Elements (not directly connected to H. V. conductors)
- 5 - D.E. Jones "Parallel-wire Couplers for Power Line Carrier"
Ontario Hydro Research Quarterly, 1st Quarter 1967, pp 21-25
- 6 - Discussion by J. Hooper and F.D. Pullen
I.E.E.E. Trans. Power Apparatus and Systems Vol. 84, No. 6,
June 1965, pp 492 - 494
- 7 - J. Hooper, F.D. Pullen "Carrier Coupling to High Voltage
Lines by Parallel Transmission Lines : Experimental
Investigations" C.E.R.L. Report RD/L/R 1353, March 1966

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Publications scientifiques et littéraires

TYPO - OFFSET

Q5 - GAP - Téléphone 14 23 14 74

Dépôt légal 297 - 1970

Le CIGRÉ a apporté le plus grand soin à la réalisation de cette brochure thématique numérique afin de vous fournir une information complète et fiable.

Cependant, le CIGRÉ ne pourra en aucun cas être tenu responsable des préjudices ou dommages de quelque nature que ce soit pouvant résulter d'une mauvaise utilisation des informations contenues dans cette brochure.

Publié par le CIGRÉ
21, rue d'Artois
FR-75 008 PARIS
Tél. : +33 1 53 89 12 90
Fax : +33 1 53 89 12 99

Copyright © 2000

Tous droits de diffusion, de traduction et de reproduction réservés pour tous pays.

Toute reproduction, même partielle, par quelque procédé que ce soit, est interdite sans autorisation préalable. Cette interdiction ne peut s'appliquer à l'utilisateur personne physique ayant acheté ce document pour l'impression dudit document à des fins strictement personnelles.

Pour toute utilisation collective, prière de nous contacter à sales-meetings@cigre.org

The greatest care has been taken by CIGRE to produce this digital technical brochure so as to provide you with full and reliable information.

However, CIGRE could in any case be held responsible for any damage resulting from any misuse of the information contained therein.

*Published by CIGRE
21, rue d'Artois
FR-75 008 PARIS
Tel : +33 1 53 89 12 90
Fax : +33 1 53 89 12 99*

Copyright © 2000

All rights of circulation, translation and reproduction reserved for all countries.

No part of this publication may be produced or transmitted, in any form or by any means, without prior permission of the publisher. This measure will not apply in the case of printing off of this document by any individual having purchased it for personal purposes.

For any collective use, please contact us at sales-meetings@cigre.org