

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1085**

Première édition
First edition
1992-03

**Considérations générales sur les systèmes
de télécommunications pour les réseaux
d'énergie électrique**

**General considerations for telecommunication
services for electric power systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1085: 1992

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1085**

Première édition
First edition
1992-03

**Considérations générales sur les systèmes
de télécommunications pour les réseaux
d'énergie électrique**

**General considerations for telecommunication
services for electric power systems**

© CEI 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

● Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives et rapports internationaux correspondants	8
2.1 Généralités	8
2.2 Téléconduite	8
2.3 Téléprotection	10
2.4 Courants porteurs sur ligne d'énergie (CPL)	10
2.5 Radio	10
2.6 CCITT	12
2.7 Compatibilité électromagnétique	12
3 Généralités	12
3.1 Fonctions	12
3.2 Systèmes de télécommunications	16
3.3 Récapitulatif	20
4 Conditions requises	20
4.1 Télécommunications et services d'exploitation	20
4.2 Compatibilité électromagnétique	44
4.3 Autres conditions requises	46
5 Impact sur l'équipement de télécommunications	50
5.1 Moyens de transmission	50
5.2 Equipement de multiplexage	58
Figures	62

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references to related international standards and reports	9
2.1 General	9
2.2 Telecontrol	9
2.3 Teleprotection	11
2.4 Power line carrier (PLC)	11
2.5 Radio	11
2.6 CCITT	13
2.7 Electro-magnetic compatibility	13
3 General	13
3.1 Functions	13
3.2 Telecommunication services	17
3.3 Summary	21
4 Service requirements	21
4.1 Telecommunication and operational services	21
4.2 Electro-magnetic compatibility (EMC)	45
4.3 Other requirements	47
5 Impact on telecommunication provision	51
5.1 Transmission media	51
5.2 Multiplex equipment	59
Figures	62

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS POUR LES RÉSEAUX D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

Le présent Rapport technique a été établi par le Comité d'Etudes n° 57 de la CEI: Téléconduite, téléprotection et télécommunications connexes pour systèmes électriques de puissance.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règles des Six Mois	Rapport de vote
57(BC)56	57(BC)59

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport.

Ce rapport est un Rapport technique de type 2. Il ne doit pas être considéré comme Norme internationale.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce Rapport technique de type 2 dans trois ans au plus tard après sa publication avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GENERAL CONSIDERATIONS FOR
TELECOMMUNICATION SERVICES FOR
ELECTRIC POWER SYSTEMS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This Technical Report has been prepared by IEC Technical Committee No. 57: Telecontrol, teleprotection and associated telecommunications for electric power systems.

The text of this report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
57(CO)56	57(CO)59

Full information on the voting for the approval of this Technical Report can be found in the Voting Report indicated in the above table.

This report is a Technical Report of type 2. It is not to be regarded as an International Standard.

A review of this Technical Report of type 2 will be carried out not later than three years after its publication with the options of: extension for another three years; conversion into an International Standard; or withdrawal.

INTRODUCTION

Du fait de la taille et de la complexité croissante des réseaux d'énergie électrique, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement, des systèmes de télécommunications appropriés deviennent absolument indispensables pour répondre aux besoins liés à l'exploitation, la maintenance et la partie administrative.

Il est donc tout à fait intéressant d'avoir un rapport donnant une vue d'ensemble de ce qui est nécessaire pour aider à la planification de ces systèmes.

Les présentes considérations reposent sur un document de la CIGRÉ (voir 2.1) et sur les publications appropriées du Comité d'Etudes n° 57 de la CEI.

Dans la mesure où les possibilités offertes et où les solutions techniques proposées pour la fourniture des systèmes de télécommunications des réseaux d'énergie électrique dépendent énormément des normes nationales et internationales, et dans la mesure où il est également nécessaire de répondre aux conditions requises par l'administration locale des PTT ainsi qu'aux besoins de coexistence avec les services de radiodiffusion locale, le présent document est à considérer comme un Rapport technique et non pas comme une norme.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 1085:1992

INTRODUCTION

The size and complexity of electric power systems in both developed and developing countries is growing rapidly and increasingly requires adequate telecommunication services to satisfy the operational, maintenance and administration needs.

It is therefore useful to have a report giving an overview of what is required which will assist in the planning of such services.

These considerations are based on the CIGRÉ paper (see 2.1) and on the relevant publications of IEC Technical Committee No. 57.

As the technical possibilities and solutions for the provision of telecommunication services for electric power system depend very much on international and national standards, and there is also a need to satisfy the local PTT requirements as well as a need to co-exist with local radio/broadcasting services, this document is issued as a Technical Report and not as a standard.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 61085-1992

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS POUR LES RÉSEAUX D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique est destiné à donner une vue d'ensemble des problèmes spécifiques et des conditions requises pour les systèmes de télécommunications des réseaux d'énergie électrique.

2 Références normatives et rapports internationaux correspondants

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

Il existe de nombreux rapports et normes internationaux couvrant les sujets abordés dans le présent rapport, et les paragraphes ci-après donnent le détail des normes et rapports s'appliquant à chacun des aspects.

2.1 Généralités

*Guide de planification des réseaux de télécommunications pour les réseaux d'énergie électrique (1985).**

ANSI/IEEE STD 367 - 1987: *IEEE recommended practises for determining the electric power station ground potential rise and induced voltage from a power fault.*

2.2 Téléconduite

Dans le domaine de la téléconduite, le Comité d'Etudes n° 57 de la CEI est en train de réaliser une publication très utile. Cette publication, la CEI 870, est constituée de six parties:

CEI 870-1: *Matériels et systèmes de téléconduite - Première partie: Considérations générales.*

CEI 870-2: *Matériels et systèmes de téléconduite - Deuxième partie: Conditions de fonctionnement.*

CEI 870-3: 1989, *Matériels et systèmes de téléconduite - Troisième partie: Interfaces (caractéristiques électriques).*

* Publié par le groupe de travail 04 de la Commission d'Etudes 35 du CIGRE.

GENERAL CONSIDERATIONS FOR TELECOMMUNICATION SERVICES FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS

1 Scope

This Technical Report is intended to give an overview of the specific problems and requirements for electric power utility telecommunication systems.

2 Normative references to related international standards and reports

The following standards contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Technical Report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this Technical Report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards listed below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

There are many international standards and reports covering the topics considered in this report and the following subclauses detail those relevant to each aspect.

2.1 General

*Guide for planning of power systems telecommunication systems (1985).**

ANSI/IEEE STD 367 - 1987: *IEEE recommended practises for determining the electric power station ground potential rise and induced voltage from a power fault.*

2.2 Telecontrol

In the area of telecontrol the IEC Technical Committee No. 57 is in the process of producing a very useful publication. This publication, IEC 870, consists of six parts as follows:

IEC 870-1: *Telecontrol equipment and systems - Part 1: General considerations.*

IEC 870-2: *Telecontrol equipment and systems - Part 2: Operating considerations.*

IEC 870-3: 1989, *Telecontrol equipment and systems - Part 3: Interfaces (electrical characteristics).*

* Published by CIGRE Working Group 04 of Study Committee 35.

CEI 870-4: 1990, *Matériels et systèmes de téléconduite - Quatrième partie: Prescriptions relatives aux performances.*

CEI 870-5: *Matériels et systèmes de téléconduite - Cinquième partie: Protocole de transmission.*

CEI 870-6: *Matériels et systèmes de téléconduite - Sixième partie: Protocoles de téléconduite compatibles avec l'ISO et le CCITT (à l'étude).*

Les deux documents suivants, publiés respectivement par la CEI et l'IEEE, sont aussi très utiles:

CEI 50(371): 1984, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) - Chapitre 371: Téléconduite.*

IEEE P 565/D3 5-27-77: *Manual of automatic and supervisory station control data organization.*

2.3 Téléprotection

Le Comité d'Etudes n° 57 de la CEI a édité les normes suivantes sur les performances et les essais des matériels de téléprotection:

CEI 834-1: 1988, *Performances et essais des matériels de téléprotection des réseaux d'énergie électrique - Première partie: Systèmes de commande à bande étroite.*

CEI 834-2: *Performances et essais des matériels de téléprotection des réseaux d'énergie électrique - Deuxième partie: Système de comparaison analogique (en préparation).*

2.4 Courants porteurs sur ligne d'énergie (CPL)

Le Comité d'Etudes n° 57 de la CEI a publié les normes suivantes:

CEI 353: 1989, *Circuits-bouchons pour réseaux alternatifs.*

CEI 481: 1974, *Groupes de couplage pour systèmes à courants porteurs sur lignes d'énergie.*

CEI 495: 1974, *Valeurs recommandées pour les caractéristiques d'entrée et de sortie des équipements à courants porteurs sur lignes d'énergie, à bande latérale unique.*

CEI 663: 1980, *Conception des systèmes à courants porteurs (à bande latérale unique) sur lignes d'énergie.*

2.5 Radio

Recommandations et rapports du CCIR, XVI^e assemblée plénière, 1986, tome IX - Partie 1: *Service fixe utilisant les faisceaux hertziens.*

Recommandations et rapports du CCIR, XVI^e assemblée plénière, 1986, tome VIII - Partie 1-3: *Radio mobile.*

IEC 870-4: 1990, *Telecontrol equipment and systems - Part 4: Performance requirements*.

IEC 870-5: *Telecontrol equipment and systems - Part 5: Transmission protocols*.

IEC 870-6: *Telecontrol equipment and systems - Part 6: Telecontrol protocols compatible with ISO and CCITT standards* (under consideration).

The following two documents, published by the IEC and IEEE respectively, are also very useful:

IEC 50(371): 1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 371: Telecontrol*.

IEEE P 565/D3 5-27-77: *Manual of automatic and supervisory station control data organization*.

2.3 Teleprotection

IEC Technical Committee No. 57 has produced the following standards on performance and testing of teleprotection equipment:

IEC 834-1: 1988, *Performance and testing of teleprotection equipment of power systems - Part 1: Narrow-band command systems*.

IEC 834-2: *Performance and testing of teleprotection equipment of power systems - Part 2: Analogue comparison systems* (in preparation).

2.4 Power line carrier (PLC)

IEC Technical Committee No. 57 has produced the following standards:

IEC 353: 1989, *Line traps for a.c. power systems*.

IEC 481: 1974, *Coupling devices for power line carrier systems*.

IEC 495: 1974, *Recommended values for characteristic input and output quantities of single sideband power line carrier terminals*.

IEC 663: 1980, *Planning of (single sideband) power line carrier systems*.

2.5 Radio

Recommendations and reports of the CCIR, XVIth Plenary Assembly, 1986, Volume IX - Part 1: *Fixed service using radio-relay systems*.

Recommendations and reports of the CCIR, XVIth Plenary Assembly, 1986, Volume VIII - Parts 1-3: *Mobile services*.

2.6 CCITT

- Multiplexage spatial:
CCITT Livre bleu (1988) - Tome III - Fascicule III-2: *Systèmes internationaux analogiques à courants porteurs.*
- Multiplexage temporel:
CCITT Livre bleu (1988) - Tome III - Fascicule III-3: *Supports de transmission caractéristiques.*
- CCITT Livre bleu (1988) - Tome VIII - Fascicule VIII-7: *Réseau de communications de données. Systèmes de messageries. Recommandations X.400 à X.420.*

2.7 Compatibilité électromagnétique

Essais d'immunité (Séries de normes CEI 801 et CEI 1000).

3 Généralités

Un réseau d'énergie électrique est formé d'un certain nombre de centrales électriques (thermiques et hydro-électriques) implantées en plusieurs endroits d'un pays et fournissant, par l'intermédiaire d'un réseau de transport et de distribution, l'énergie électrique dans tout le territoire. Le réseau de transport assure la connexion des centrales à des postes du réseau au niveau desquels s'effectuent une commutation et une transformation vers des tensions plus basses. Celles-ci alimentent le réseau de distribution sur lequel sont connectées les applications domestiques et industrielles.

Un réseau d'énergie électrique est généralement rattaché à une compagnie publique d'électricité. Pour gérer et faire fonctionner cette compagnie, il faut en plus des centrales électriques et des postes de transport et de distribution, un certain nombre de centres à savoir (figure 1):

- une administration centrale chargée d'exploiter la compagnie;
- un ou plusieurs postes de conduite chargés de décider de la centrale devant être exploitée et des modes d'utilisation du réseau de transport et de distribution;
- un ou plusieurs centres de maintenance;
- un ou plusieurs centres informatiques chargés d'assister les centres de contrôle et l'administration centrale.

Ces centres ne peuvent travailler isolément d'où la nécessité de systèmes de télécommunications. Les paragraphes de l'article 3 ci-après identifient les fonctions devant être réalisées et les systèmes de télécommunications nécessaires pour remplir ces fonctions.

3.1 Fonctions

3.1.1 Téléphonie administrative (voir figure 2)

Au simple niveau de base, l'administration centrale doit pouvoir communiquer avec chacun des sites oralement, c'est-à-dire par téléphone. Elle peut également avoir besoin d'utiliser d'autres services tel que le télex, la télécopie et de plus en plus fréquemment le courrier électronique. Les différents sites devront également être à même de communiquer les uns avec les autres.

2.6 CCITT

- FDM:

CCITT Blue Book (1988) - Volume III - Fascicle III-2: *International analogue carrier systems. Transmission media characteristics.*

- TDM:

CCITT Blue Book (1988) - Volume III - Fascicle III-3: *Digital Networks. Transmission system and multiplexing equipment*

- CCITT Blue Book (1988) - Volume VIII - Fascicle VIII-7: *Data communication networks. Message handling systems. Recommendations X.400 - X.420.*

2.7 Electro-magnetic compatibility

Immunity tests (IEC 801 and IEC 1 000 series).

3 General

An electric power system consists of a number of power stations (thermal and hydro) located in different parts of a country supplying electric power via a transmission and distribution network to feed loads which are spread across the territory and are remote from the power stations. The transmission network connects the power stations to substations where switching and transformation to lower voltages takes place and from where loads, domestic and industrial are supplied via a distribution network.

An electric power system is frequently referred to as an electrical public utility. In order to administer and operate the utility, in addition to the power stations, transmission and distribution substations, a number of other units can be identified (see figure 1). These are:

- a headquarters to run the utility;
- one or more control centres to determine which power stations should operate and how the transmission and distribution network shall be used;
- one or more maintenance centres;
- one or more computing centres for support of the control centre(s) and for support of headquarters.

These units obviously cannot work in isolation and hence require telecommunication services. The following subclauses in clause 3 identify the functions to be executed and the consequent telecommunication services needed to satisfy the functions.

3.1 Functions

3.1.1 Administrative telephony (see figure 2)

At the most basic level headquarters will need to communicate with all locations within the utility by voice, that is telephony, and may also wish to use telex and facsimile services and, increasingly, electronic mail services. The locations will also wish to communicate with one another.

Chacun des sites devra également pouvoir être relié par téléphone avec le monde extérieur, c'est-à-dire avec le réseau téléphonique public commuté (RTC), cette liaison pouvant également inclure des services de télex et de télécopie.

3.1.2 *Téléphonie opérationnelle* (voir figure 3)

Pour le ou les centres de contrôle, il est indispensable de disposer d'une liaison téléphonique rapide et simple avec les centrales électriques, les postes du réseau et le ou les centres de maintenance. Il est également nécessaire de disposer d'une liaison téléphonique avec les compagnies d'électricité voisines, afin de pouvoir programmer les échanges d'énergie électrique.

3.1.3 *Téléconduite (SCADA)* (voir figure 4)

Pour être en mesure de remplir son rôle, le poste de conduite doit être en possession de tous les renseignements concernant le réseau d'énergie, à savoir les positions d'état (c'est-à-dire les informations contrôlées telles que celles concernant les disjoncteurs, les sectionneurs, les alarmes), les mesures, les totaux intégrés, etc., des centrales électriques (thermiques et hydroélectriques) et des postes du réseau se trouvant à une certaine distance du poste de conduite. Il est également nécessaire de commander les centrales électriques et hydrauliques. Si l'on utilise une commande puissance-fréquence (également connue sous le nom de contrôle automatique de production), une télécommande des turbines et alternateurs au niveau des centrales électriques se révèle également nécessaire.

Dans le cas de centrales hydroélectriques, des données hydrauliques telles que hauteur de chutes de pluie et niveau d'eau doivent également être renvoyées au centre de contrôle.

Dans le ou les postes de conduite, ces informations sont utilisées pour piloter une interface homme/machine constituée de synoptiques et de consoles de visualisation.

Le système utilisé pour gérer tous ces aspects est connu sous le nom de système de téléconduite ou système SCADA (système de supervision et d'acquisition de données).

3.1.4 *Gestion de charge* (voir figure 5)

Si une compagnie d'électricité souhaite améliorer le facteur de charge de son système au cours de la journée, il peut offrir à ses clients des avantages les poussant à utiliser l'énergie électrique à certaines périodes particulières de la journée. Cette fonction est connue sous le nom de gestion de charge et s'obtient par une commutation à distance permettant de mettre certaines charges en circuit ou hors circuit. Cette gestion de charge peut être assurée par le centre de contrôle, mais elle peut également se faire automatiquement, de la même façon que l'éclairage des rues.

3.1.5 *Téléprotection* (voir figure 6)

La téléprotection est utilisée lorsqu'un incident se produit dans le réseau d'énergie et exige qu'un ordre de protection soit transmis en un autre endroit.

Locations will also need telephone connections to outside of the utility, that is via the public switched telephone network (PSTN) and this may again include telex and facsimile services.

3.1.2 *Operational telephony* (see figure 3)

The control centre(s) requires rapid and simple telephone access to the power stations, substations and the maintenance centre(s). Telephone access is also required to neighbouring power utilities for the purpose of scheduling the interchange of electrical power.

3.1.3 *Telecontrol (SCADA)* (see figure 4)

In order that the control centre can carry out its function it needs to be provided with all the information about the power system, namely status positions (i.e. monitored information such as circuit-breakers, isolators, alarms), measurands, integrated totals, etc., from the power stations (thermal and hydro) and substations which are of course remote from the control centre. It is also necessary to control electrical and hydraulic plant. If load frequency control (LFC – also known as Automatic Generation Control) is used then remote control of the turbine-alternators at the power stations will also be required.

In the case of hydro-electric power stations hydraulic data, such as rainfall and water level, also needs to be returned to the control centre.

At the control centre(s) this information is used to drive a man-machine interface consisting of mimic diagrams and visual display units (VDU's).

The system used to handle all these aspects is known as a telecontrol system or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

3.1.4 *Load management* (see figure 5)

An electrical power utility may wish to improve its system load factor throughout the day by offering incentives to customers to utilise electric power at particular periods of the day. This function is known as load management and is achieved by the remote switching in or out of loads. Load management may be under the control of the control centre or it may be an automatic feature such as when it is used for the control of street lighting.

3.1.5 *Teleprotection* (see figure 6)

Where the occurrence of an incident on the power system requires protective action at another location teleprotection is used.

3.1.6 Radiocommunications avec les postes mobiles (voir figure 7)

L'exploitation du réseau d'énergie électrique, qui se trouve sous le contrôle du ou des centres de contrôle, est assistée par une organisation de maintenance implantée en un ou plusieurs endroits du territoire couvert par la compagnie. Ces centres de maintenance possèdent des équipes mobiles qui doivent pouvoir être jointes soit dans leur véhicule, soit par l'intermédiaire de «talkie-walkie». C'est pour cette raison que l'on utilise les radio-communications avec des postes mobiles, généralement dans les bandes VHF (70 MHz à 165 MHz) et UHF (400 MHz à 470 MHz).

3.1.7 Réseau informatique (voir figure 8)

Dans les installations modernes, on a généralement au moins un ordinateur central relié à des mini-calculateurs situés en d'autres points du réseau.

L'ordinateur central peut être utilisé par le poste de conduite pour des études de planification autonomes. Il peut aussi être utilisé pour des opérations administratives telles que les salaires et la facturation.

3.2 Systèmes de télécommunications

3.2.1 Téléphonie administrative

Pour répondre aux besoins administratifs de la compagnie (3.1.1), un réseau téléphonique privé est généralement prévu, lequel utilise des moyens de transmission appropriés (voir 5.1) avec des autocommutateurs privés et, si le réseau est assez important, des autocommutateurs de transit.

Ce réseau est généralement interconnecté avec le réseau téléphonique public permettant ainsi à certains sites l'accès vers l'extérieur.

3.2.2 Téléphonie opérationnelle

Pour répondre aux besoins des centres d'exploitation (3.1.2), un système téléphonique spécifique est généralement prévu, avec un répertoire limité permettant d'appeler un certain nombre de postes par un code d'accès. Lorsque ce système utilise le réseau privé servant aux fins administratives (3.2.1), un système de priorités est généralement prévu, lequel permet à l'ingénieur de contrôle de toujours avoir accès au poste désiré.

3.2.3 Téléconduite

Les systèmes de téléconduite (3.1.3) comprennent un équipement situé dans le ou les postes de conduite, que l'on appelle parfois le ou les postes maîtres, relié par des moyens de communication appropriés aux postes asservis qui se trouvent au niveau des centrales électriques (thermiques et hydroélectriques) et des postes du réseau. Ces postes asservis servent d'interface avec les paramètres électriques appropriés; il reçoivent les commandes et renvoient les informations rapidement, avec précision et en continu.

Au niveau du ou des postes de conduite, le matériel se résume à des mini-ordinateurs travaillant avec les postes asservis et permettant d'animer les synoptiques et les consoles de visualisation.

3.1.6 *Mobile radio* (see figure 7)

In support of the operation of the power system, under the control of the control centre(s), there will be a maintenance organisation with one or more locations in the territory covered by the utility. These maintenance centres will have mobile crews who can be reached either in their vehicles or directly on a "walkie-talkie" basis. For this, mobile radio is used typically in the VHF (70-165 MHz) and UHF (400-470 MHz) bands.

3.1.7 *Computing traffic* (see figure 8)

In modern utilities it is usual to have at least one main-frame computer with, in addition, smaller mini-computers located elsewhere connected to the main-frame.

The main-frame may be used by the control centre for off-line planning studies. It may also be used for administrative services such as wages and billing.

3.2 *Telecommunication services*

3.2.1 *Administrative telephony*

To satisfy the administrative needs of the utility (3.1.1) a private network is usually provided, which makes use of suitable communication media (see 5.1) together with private automatic exchanges and, if the network is large enough, with transit exchanges.

For connection to the public network, public exchange lines are usually provided to all locations requiring the service.

3.2.2 *Operational telephony*

To satisfy the operational telephony needs (3.1.2) a special purpose telephone system is usually provided with key calling of a limited repertoire of extensions and, where such a system is shared with the administrative private network (3.2.1), a priority feature which ensures that the control engineer always has access to the desired extension.

3.2.3 *Telecontrol*

Telecontrol systems (3.1.3) consist of equipment at the control centre(s), sometimes called master station(s), connected via suitable communication media to outstations located in the power stations (thermal and hydro) and substations. These outstations are interfaced to the relevant electrical parameters and receive commands and return information rapidly, accurately and continuously.

At the control centre(s) the equipment consists of mini-computers working with the outstations and animating the mimic diagrams and VDU's.

3.2.4 *Gestion des charges*

Lorsque la gestion des charges s'applique aux charges domestiques ou industrielles par télécommunication à distance, avec accès à un grand nombre de consommateurs, une communication radio en mode unidirectionnel peut être tout à fait suffisante. Dans ce cas, il suffit d'avoir un radioémetteur central et de nombreux radiorécepteurs.

Par ailleurs, lorsqu'il faut un contrôle de l'éclairage des rues ou un contrôle du chauffage électrique de l'eau ménagère, une signalisation transmise par le secteur peut être utilisée (télécommande centralisée).

3.2.5 *Téléprotection*

Les systèmes de téléprotection utilisent des moyens de communication appropriés pour transmettre des données ou des commandes de protection d'un endroit à l'autre. Ces services exigent un fonctionnement rapide, fiable et sans erreur.

3.2.6 *Radiocommunications avec les postes mobiles*

Pour les systèmes de radiotéléphonie avec des postes mobiles couvrant une zone définie, il y a généralement une ou plusieurs stations de base reliées au centre de maintenance par des moyens de communication appropriés. Les véhicules sont équipés d'un émetteur/récepteur radio ayant accès à un ou plusieurs canaux des bandes de fréquences VHF ou UHF. Des émetteurs/récepteurs portatifs peuvent également être utilisés; dans un cas, et lorsque les distances de service sont réduites, il est généralement préférable d'utiliser la bande UHF. Lorsqu'on utilise des véhicules, ceux-ci peuvent éventuellement être équipés d'un système de gestion des messages téléimprimés.

3.2.7 *Réseau informatique*

Le trafic des données informatisées inclut généralement un grand nombre de données transférées vers le calculateur central, en provenance de celui-ci ou acheminées dans les deux sens. Une grande part du trafic peut également se faire en mode interactif.

Ce trafic de données exige une protection contre les erreurs ainsi qu'une grande vitesse de transmission, généralement de 2,4 kbits/s, 9,6 kbits/s ou 64 kbits/s, voire plus. Des moyens de communication appropriés s'avèrent nécessaires pour ce trafic.

3.2.8 *Autres services*

Les services de télex, de télécopie et de courrier électronique impliquent généralement le transfert de petites quantités de données entre les centres d'exploitation et les centres administratifs. Les vitesses de transmission vont de 50 bits/s pour les télex à 2,4 kbits/s pour la télécopie et le courrier électronique. Aucune protection contre les erreurs n'est généralement prévue pour le télex et la télécopie, mais les systèmes de courrier électronique reposant sur la Recommandation X.400 du CCITT prévoient une protection contre les erreurs. Des moyens de transmission appropriés sont nécessaires pour gérer tous ces trafics. A un coût raisonnable, des installations de commutation de messages pour le télex et le courrier électronique permettent d'obtenir des avantages intéressants.

3.2.4 *Load management*

Where load management is applied to domestic or industrial loads by remote tele-switching, requiring access to a large number of consumers, one way radio communication may be quite sufficient, in which case there is one central radio transmitter and many radio receivers.

On the other hand where control of street lighting or control of domestic electric water heating is required, mains borne signalling may be used (also known as ripple control).

3.2.5 *Teleprotection*

Teleprotection systems provide a means of transmitting protection information or protection commands from one location to another via suitable communication media. Fast, reliable and error free operation is essential for such services.

3.2.6 *Mobile radio*

For mobile radio systems with a defined area to be covered there will typically be one or more base stations connected to the maintenance centre by suitable communication media. The vehicles will be equipped with a radio transmitter/receiver with access to one or more radio channels in the VHF or UHF band. Hand portables may also be used in this application and where the service distances are small, UHF is usually preferred. Where vehicles are used, some may be equipped with a text message capability.

3.2.7 *Computing traffic*

Computing traffic usually consists of large amounts of data transferred either to or from or both ways into the main-frame. There may also be a large amount of interactive traffic.

Such traffic requires error protection as well as high speed signalling, typically 2,4 kbits/s, 9,6 kbits/s, or 64 kbits/s and even higher. Suitable communication media are required for such traffic.

3.2.8 *Other services*

Telex, facsimile and electronic mail traffic usually consists of small amounts of data transferred between operational and administration centres. Signalling speeds range from 50 bits/s for telex to 2,4 kbits/s for facsimile and electronic mail. No error protection is usually provided for telex and facsimile; error protection is provided however for electronic mail systems based on the CCITT Recommendation X.400. Suitable communication media are needed for all such traffic. Message switching facilities for telex and electronic mail bring extra benefits at reasonable cost.

3.2.9 *Systèmes de sonorisation (par haut-parleur)*

Les systèmes de sonorisation sont largement utilisés par les compagnies d'électricité, pour l'administration, la sécurité (incendie, radiation, évacuation) et les messages d'exploitation radiodiffusés. Pour les exigences d'exploitation interne d'une centrale électrique, lorsqu'une communication en mode unidirectionnel s'avère suffisante, un système de sonorisation par haut-parleur offre un moyen tout à fait approprié de communication d'informations à un groupe de personnes.

3.2.10 *Gestion de réseau*

Les compagnies modernes ont coutume d'utiliser des techniques de gestion de réseau pour gérer le réseau de télécommunications. Un centre de gestion centralisé réunit à distance les données concernant le trafic, la qualité de transmission, les pertes de données et est à même de procéder à des modifications de routage en vue d'acheminer les données de la façon la plus fiable possible.

3.2.11 *Alimentations*

Pour permettre la mise en oeuvre des services de télécommunications mentionnés ci-dessus, il faut des alimentations conçues de façon à offrir la sécurité et la fiabilité requises. Toutes les alimentations doivent donc prévoir un atelier d'énergie de secours, avec par exemple une batterie d'accumulateurs, de façon à ne pas interrompre l'alimentation des équipements en cas de panne du réseau.

3.3 *Récapitulatif*

Il peut être préférable pour une compagnie d'électricité de prévoir en totalité ou en partie ses propres systèmes de télécommunications, pour les raisons suivantes:

- i) Le service indispensable assuré par un réseau d'énergie électrique exige une intégrité et une disponibilité des communications supérieures à celles que peut normalement offrir l'administration des PTT.
- ii) Un opérateur des télécommunications publiques risque de ne pas être à même d'offrir toutes les possibilités souhaitées à un rapport qualité-prix intéressant.

Que les télécommunications soient assurées par l'administration des PTT ou qu'elles soient prises en charge par la compagnie d'électricité, il convient de prendre en considération les problèmes d'isolement et de compatibilité électromagnétique d'ensemble au niveau des postes du réseau et des centrales électriques, de façon à garantir un service sûr et fiable.

4 *Conditions requises*

4.1 *Télécommunications et services d'exploitation*

4.1.1 *Téléphonie administrative*

Comme toutes les organisations industrielles et commerciales, la compagnie publique d'électricité a besoin d'un système de téléphonie approprié. Les conditions requises par un tel système sont cependant plus strictes que pour toute autre organisation dans la mesure où les installations téléphoniques peuvent avoir des répercussions très importantes sur l'image de marque de la compagnie d'électricité vis-à-vis de ses usagers.

3.2.9 *Public address system (PA System)*

Public address systems are widely used by electrical power utilities for administration, safety (fire, radiation, evacuation) and operational broadcasts. For internal power station operational requirements where only one way communication is necessary, a PA system provides a very convenient means of communicating to a group of people collectively.

3.2.10 *Network management*

It is usual for modern utilities to employ network management techniques for administering the telecommunications network. A centrally-located management centre collects traffic and transmission quality and failure data remotely and is capable of making software changes to accomplish the most reliable routing of traffic.

3.2.11 *Power supplies*

To support the aforementioned telecommunication services, power supplies are required which should be engineered to match the desired security and reliability. Thus all supplies should be backed by electrical storage, for example batteries, so that the supply continues to be available during power system failures.

3.3 *Summary*

An electrical utility may elect to provide its own entire telecommunication services or a portion of them for the following reasons:

- i) The essential service provided by an electrical utility requires integrity and availability of communication better than a PTT could normally offer.
- ii) A public telecommunications operator may not be prepared to provide all the facilities required in a cost effective way.

Regardless of whether or not the electrical utility or the PTT provides the service, isolation problems and general electro-magnetic compatibility (EMC) at substations and power stations should be taken care of in providing safe, secure and reliable service.

4 **Service requirements**

4.1 *Telecommunication and operational services*

4.1.1 *Administrative telephony*

In common with all industrial and commercial organizations an electrical public utility needs a suitable service of telephony. However, the requirements for such a service are more demanding than for many other organisations because the telephony facilities may strongly influence the image of the utility to the electricity supply users.

Le service téléphonique administratif doit être à même de gérer les plaintes du public, les demandes d'alimentation électrique émanant du public, ainsi que l'organisation du travail, l'approvisionnement en combustible et les mouvements de combustible au sein de l'organisation.

4.1.2 *Téléphonie opérationnelle*

Compte tenu de l'importance de besoins de communications orales entre les membres du personnel chargé de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique, un service téléphonique s'avère absolument nécessaire.

Dans une compagnie d'électricité, l'outil de travail le plus important est un bon système téléphonique. Avec la téléconduite, ce système est utilisé pour gérer et superviser le réseau d'énergie électrique; cependant le système téléphonique doit rester opérationnel même en cas de panne du système de téléconduite.

Le trafic généré par les opérateurs n'est pas très important, néanmoins un système téléphonique opérationnel exige des caractéristiques qui ne peuvent être apportées que par des réseaux spécialisés.

Outre les exigences de fiabilité et de disponibilité extrêmement importantes un réseau téléphonique opérationnel doit offrir les facilités suivantes:

- un accès très rapide;
- des abonnés prioritaires, avec entrée en tiers et interruption de la communication;
- une possibilité de conférence entre plusieurs abonnés;
- un déroutage des appels;
- un réacheminement automatique des appels;
- une recharge de lignes interautomatique libres dans les groupes;
- une commutation de transit sans blocage;
- un plan de numérotation fermé;
- des limites de zones d'appel sur certains postes.

Il est également souhaitable d'avoir une indication de l'origine de l'appel en arrivée.

Pour obtenir les facilités ci-dessus, le réseau téléphonique opérationnel doit reposer sur des autocommutateurs spéciaux comprenant un système de signalisation plus élaboré que le système habituel.

Un appel prioritaire doit par exemple pouvoir transférer d'un bout à l'autre du réseau les informations relatives à la priorité au moyen d'une signalisation permettant aux autocommutateurs de réagir en fonction du type d'appel, c'est-à-dire de s'insérer dans une conversation téléphonique de moindre importance ou même de la couper si l'on ne parvient pas à trouver une ligne libre ou un abonné donné.

De la même façon, des facilités telles que la conférence entre plusieurs abonnés et le réacheminement d'appels exigent le transfert d'informations appropriées au sujet du type et à l'état des appels et des lignes du réseau assurant le raccordement entre les autocommutateurs de transit. Ces facilités doivent être prévues pour les voies de type analogique ou numérique, qu'un seul canal ou que plusieurs canaux soient utilisés.

Administrative telephony should be able to service complaints from the public, demand for electrical supply from the public, as well as work organization, fuel provision and fuel movement within the organization.

4.1.2 *Operational telephony*

Due to the importance of the voice communication needs of staff in charge of generation, transmission and distribution of electrical power, there is a need for an operational telephony service.

In an electrical utility operational telephony is the most important working tool. Together with telecontrol, it is used for managing and supervising the power network but operational telephony has to be available even when the telecontrol system fails.

The traffic offered by the operators is not high; nevertheless operational telephony requires features that cannot be provided except by means of specially dedicated networks.

In addition to the very high reliability and availability required, an operational telephone network shall provide the following facilities:

- very rapid access;
- priority subscribers, with call intrusion and forcing down ("knock-down") facilities;
- conference facilities;
- alternative routing of calls;
- automatic re-routing of calls;
- hunting for free trunks in groups;
- non-blocking transit switching;
- closed numbering scheme;
- barring certain extensions from calling subscribers outside predetermined exchange areas.

It is also desirable to have indication of the origin of the incoming call.

In order to provide the above facilities, the operational telephone network should be based on special exchanges with a more sophisticated signalling system than usual.

A priority call, for example, has to be able to transfer the information about the priority throughout the network by means of a signalling system which enables the exchanges to perform in the manner required for this type of call, i.e. intrude on and/or disconnect a telephone conversation of lower status if free trunks or a subscriber cannot be found.

Similarly, features such as conference and re-routing of calls require the transfer of suitable information about the type and status of calls and of the trunk channels interconnecting the transit exchanges. Such features should be provided either for analogue or digital interconnection channels whether only a single channel is used or many channels.

Dans la mesure où les appels sur un réseau opérationnel peuvent être de nature extrêmement urgente, la signalisation doit être très rapide et très fiable, de façon à réduire au minimum le temps nécessaire à l'établissement de la communication.

L'avantage que présente le plan de numérotation fermé réside en ce qu'il permet d'appeler un abonné donné en composant le même numéro, et cela quel que soit l'autocommutateur du réseau à partir duquel l'appel est effectué.

L'exploitation d'un plan de numérotation fermé et du reroutage au niveau du réseau exige des autocommutateurs à programme enregistré avec des mémoires numériques.

Le personnel d'exploitation des postes de conduite doit avoir une possibilité de priorité-maximale et une possibilité d'intrusion sur la ligne, de façon à offrir un degré de service de 100 % (c'est-à-dire une disponibilité de 100 %) avec un temps d'attente nul (ou minimal).

De façon à faciliter l'exploitation et à accélérer les procédures d'appel, ce personnel doit disposer d'un matériel permettant d'établir des communications avec la destination requise simplement en appuyant, par destination, sur une touche ou un bouton (une seule touche ou un seul bouton).

L'utilisation de réseaux maillés spécialisés permet de remplir facilement les conditions de fonctionnement requises ci-dessus; ces réseaux constituent la solution la mieux appropriée pour des réseaux d'énergie de moyenne ou grande dimension. Dans de tels cas, le réseau téléphonique opérationnel peut également être utilisé, de façon intéressante, au moins comme système de secours pour les communications administratives internes.

Pour de petits réseaux dont le trafic n'est pas très dense, ou comme solution de secours pour les opérateurs du poste de conduite, des systèmes de lignes partagées peuvent constituer une solution de remplacement appropriée.

Il résulte de ce qui précède que les autocommutateurs de transit et autres matériels utilisés dans les réseaux téléphoniques opérationnels des compagnies d'énergie doivent être relativement spécifiques et différents de ceux utilisés dans les réseaux publics.

4.1.3 Téléconduite

Dans son concept de base, la téléconduite signifie que l'on peut commander à distance une centrale électrique ou des postes d'un réseau électrique, tout comme si l'opérateur se trouvait réellement à la centrale. L'un des avantages que présente cette solution est la réduction considérable de la main d'oeuvre donc des frais d'exploitation, dans la mesure où un seul opérateur peut commander plusieurs postes.

La téléconduite permet l'acquisition de données à partir de postes distants vers le poste de conduite, tout comme elle permet l'envoi des commandes du poste de conduite aux postes distants du réseau.

La téléconduite ne signifie cependant pas uniquement que l'on peut modifier à distance l'état des disjoncteurs et des sectionneurs ou que l'on peut régler à distance certaines conditions d'exploitation d'un matériel donné. En tant que procédé permettant de garantir la sécurité, la fiabilité, la disponibilité et la production d'énergie électrique à moindre coût, la téléconduite signifie également une supervision de l'état global du réseau électrique. Pour être efficace, le système de téléconduite doit donc mener à bien les fonctions d'estimation d'état, de détection de données erronées sur le réseau d'énergie électrique, etc.

As the calls in an operational network may be of an extremely urgent nature, the signalling system is required to be very fast and reliable, so that the time spent in setting up the call is kept to a minimum.

The attraction of a closed numbering scheme is that to reach a certain subscriber the same number is dialled irrespective of from which exchange within the network the call is placed.

To operate a network-wide closed numbering scheme and automatic alternative re-routing requires digital store and forward facilities and stored programme control (SPC) of the exchanges.

Operational staff at control centres should have the capability of maximum priority and intrusion ability to produce a grade of service of 100 % (i.e. availability of 100 %) with zero (or minimum) waiting time.

In order to ease the operation and speed up the calling procedures, such staff should be provided with equipment enabling calls to be set up to the required destination by simply pressing a key or button (one key or button) per destination.

The fulfilment of the above functional requirements can be easily accomplished by using dedicated meshed networks, which are the most suitable solution for medium and large size power networks. In such cases the operational telephone network can also be profitably used for internal administrative communications, at least as a back-up system.

For smaller networks with low traffic density or as a back-up facility to the dispatching and control operators, party line systems may be a suitable alternative.

It is clear from the foregoing that the transit exchanges and the other equipment used in the operational telephone networks of electrical utilities have to be quite special and different from those used in public networks.

4.1.3 *Telecontrol*

Telecontrol at its most basic concept means controlling a power station or substation remotely just as if the operator was actually at the station. One of the benefits is a noticeable saving in manpower since one operator can control several stations, thus reducing operating costs.

Telecontrol provides for data acquisition from the remote stations towards the control centre and in the reverse direction commands from the control centre to the remote stations.

Telecontrol does not however mean only telecommand for changing the state of circuit breakers and isolators (disconnectors), or setting some of the operational conditions of some of the equipment. It also means supervision of the overall state of the electrical network as a unique process to ensure its security, reliability, availability, and economy in electrical energy provision. To be effective, this requires the telecontrol system to carry out the functions of state estimation, detection of bad power system data, etc.

Les fonctions du réseau d'énergie auquel un système de téléconduite doit répondre sont énumérées au tableau 1 ci-après. Les fonctions d'exploitation nécessaires pour y parvenir sont résumées au tableau 2. On utilise fréquemment le terme de système de gestion d'énergie pour englober tous ces aspects.

Exception faite des très petits réseaux électriques, les systèmes de téléconduite sont généralement organisés suivant une structure hiérarchique, comme cela est mis en relief à la figure 9.

Au niveau le plus élevé, un système de téléconduite peut être formé d'un certain nombre de postes de conduite interconnectés et desservis, de préférence, par un réseau de télécommunications maillé et commun. Au niveau des postes de conduite, le système de téléconduite peut englober plusieurs régions administratives de distribution d'énergie électrique et l'administration ayant le contrôle du système de téléconduite ne coïncide pas nécessairement avec une administration particulière du réseau d'énergie électrique.

Dans la plupart des cas, le poste de conduite principal (DN) n'exécute pas les commandes en temps réel par l'intermédiaire du système de téléconduite, mais il fonctionne par instructions téléphoniques, par l'intermédiaire des postes de niveau inférieur. Le poste de conduite principal assure néanmoins une supervision d'ensemble du système global et peut tout à fait programmer le fonctionnement des centrales électriques.

Au niveau du Centre Régional de Conduite (CRC), un contrôle automatique de production réelle ainsi que l'exécution de commandes peuvent être menés à bien. Le CRC est également responsable du niveau d'exploitation immédiatement inférieur (Bureau de Conduite Centralisée) où sont exécutées des commandes après instructions données par le CRC ou après accord avec le CRC correspondant.

Pour garantir la sécurité, la fiabilité et la disponibilité des réseaux d'énergie électrique, il faut que les fonctions de téléconduite soient rapides même pour la mise à jour des télémesures, et qu'elles garantissent un degré élevé de sécurité et de fiabilité. La cohérence des données entre les mesures et les informations d'état est essentielle pour obtenir une exploitation satisfaisante, tout particulièrement en cas de défauts du réseau d'énergie électrique, moment auquel, la quantité d'informations à renvoyer étant très importante, les temps de réponse doivent être particulièrement courts.

La sécurité est la probabilité que des commandes incorrectes ou non souhaitées ne se produisent pas, alors que la fiabilité est la probabilité, pour une commande, de ne pas être perdue ou d'être correctement exécutée. De la même façon, les fonctions de télémesure doivent être tout à fait fiables, sûres et précises.

Ce qui précède permet de dégager les conditions requises ci-après:

- des temps de réponse rapides et prévisibles;
- l'utilisation de protocoles et d'une programmation appropriés pour la transmission des données d'exploitation;
- des moyens de communications de haute qualité;
- des réseaux de communications extrêmement fiables;
- des réseaux de communications offrant une grande disponibilité aussi bien pour le long terme (panne du matériel) que pour le court terme (bruit, propagation, interférences).

The power system functions that a telecontrol system has to satisfy are listed in the following table 1. The consequent operational functions to achieve these are summarised in table 2. The term energy management system (EMS) is frequently used to embrace all such aspects.

Except in very small electrical networks, the telecontrol functions are usually organised in an hierarchical structure, as shown in figure 9.

At the highest level a telecontrol system can consist of a number of interconnected control centres serviced preferably by a common meshed telecommunication network. The telecontrol system may span more than one power administrative region at control centres and thus the authority over the telecontrol system itself does not necessarily coincide with any particular power system authority.

In most cases the main control centre (MCC) will not execute commands in real time via the telecontrol system but operates via the lower level centres by telephone instruction. Nevertheless, the main control centre will provide overall supervision of the total system and may well schedule the operation of the power stations.

At the level of Regional Control Centre (RCC) actual LFC operations as well as execution of commands may be performed. The RCC is also responsible for the next lower level of operation (District Control Centres), that execute commands after instruction by or agreement with their RCC.

The security, reliability and availability of the electrical power system requires that the telecontrol functions are fast even in updating the telemeasurements and should be of the highest security and reliability. Consistency of information between the measurements and status information is essential for satisfactory operation, especially in times of power system faults. Response times should be short particularly during power system faults when the amount of information to be returned will be very large.

Security is the probability that unwanted or incorrect commands do not occur, while reliability is the probability that a command is not missed and is correctly executed. Similarly the telemetering functions have to be highly reliable, secure and accurate.

All of the foregoing result in the following requirements:

- fast and predictable response times;
- use of suitable transmission protocols and coding for operational data transmission;
- high quality communication media;
- high reliability communication network;
- high availability communication networks both long term (equipment failure) and short term (noise, propagation, interferences).

La capacité de transmission des liaisons de télécommunication doit permettre d'avoir un temps de réponse global relativement court tout en assurant un taux correct de protection contre les erreurs. L'exploitation moderne d'un réseau d'énergie électrique exige un temps de mise à jour des informations parvenant au poste de conduite principal inférieur à quelques secondes. Compte tenu de la quantité des informations provenant des postes asservis, le débit de données peut être généralement de l'ordre de 200 bits/s à 2 400 bits/s entre les postes asservis et les bureaux de conduite centralisée, de l'ordre de 2 400 à 9 600 bits/s entre les BCC et les CRC, et de l'ordre de 9 600 bits/s à 48 000 bits/s entre les CRC et les centres de contrôle principaux (DN).

Les chiffres relatifs au débit de données risquent d'augmenter avec l'introduction de la nouvelle génération de systèmes de téléconduite. Ceux-ci tendent à exiger des temps de réponse beaucoup plus courts et des capacités plus importantes de façon à mettre en valeur la gestion automatique des fonctions par ordinateur afin d'améliorer la sécurité, la fiabilité et la disponibilité du service offert par l'administration chargée des réseaux d'énergie électrique.

Des développements intéressants sont également en cours en ce qui concerne utilisation de systèmes experts aux différents niveaux des systèmes de téléconduite. Ils permettront de conduire, entre autres, à une réduction importante des quantités de données transmises, en temps réel par suite d'une analyse d'alarme automatique locale en cas d'augmentation soudaine des données.

Il convient que la disponibilité type globale pour les liaisons de télécommunications du premier niveau (CRC à DN) soit supérieure à 99,99 %, alors que des valeurs inférieures peuvent être acceptées dans les niveaux secondaires dans lesquels il y a lieu que la disponibilité soit supérieure à 99,9 %.

Eu égard à la configuration des réseaux de télécommunications, la disponibilité requise à long terme implique la nécessité d'acheminement de signaux redondants sur des parcours entièrement indépendants. Des configurations maillées permettent d'obtenir facilement ce résultat.

Un acheminement redondant ne suffit pas en soi pour garantir la disponibilité requise à court terme en cas de pannes ordinaires pouvant affecter les deux parcours. Une totale redondance implique des entrées séparées dans un bâtiment à partir d'acheminements séparés.

En dépit d'une telle séparation, il convient que chaque voie de communication soit caractérisée par une qualité suffisamment grande et une grande disponibilité de façon à obtenir rapidement la disponibilité requise lorsque l'une des deux voies est hors service.

Il convient de continuer d'étudier la nécessité de souplesse en cas de panne d'un BCC, d'un CRC ou même d'un DN.

The transmission capacity of the communication links should match the need to keep the overall response times small consistent with providing the right amount of error protection. Modern power system operation requires that the updating time of the information reaching the MCC is less than a few seconds. Taking into account the amount of information coming from the remote stations, the data throughput can be typically 200 bits/s to 2 400 bits/s between outstations and DCC, typically 2 400 bits/s to 9 600 bits/s between DCC and RCC, and typically 9 600 bits/s to 48 000 bits/s between RCC and MCC.

The data throughput figures are likely to increase with the introduction of the next generation of telecontrol systems which tend to require much shorter response times and higher throughputs in order to enhance the automatic computer-based system control functions and thus improve the security, reliability and availability of the service provided by the utility.

Significant developments in the use of expert systems at the different levels of telecontrol systems are currently underway. Among other things, these may lead to a potential reduction in the quantities of a real-time data transmitted as a result of local automatic alarm analysis in the event of a sudden increase in data.

The overall target availability for the telecommunication links of the primary network (RCC to MCC) should be better than 99,99 %, whereas lower values may be tolerated in the secondary networks where the availability should be better than 99,9 %.

Regarding the telecommunication network configuration, the required long-term availability imposes a need for redundant routing of signals on fully independent paths. This can readily be achieved by mesh configurations.

Redundant routing itself is not sufficient to ensure the required availability in the short term if there are any common mode failures that can affect both paths. Full redundancy means separate entries into a building from separate routes.

Notwithstanding such separation, each communication path should be of sufficiently high quality and high availability to achieve the required availability in the short term when one of the paths is out of service.

A further consideration is the need for flexibility should a DCC, RCC or even an MCC fail.

Tableau 1 - Fonctions du réseau d'énergie électrique
(devant être assurées par la téléconduite)

Détermination de l'état du réseau	Détermination de la topologie et estimation de l'état. Equivalence du réseau.
Analyse du réseau	Calcul de transits de charge. Calculs de courts-circuits. Evaluation de la marge de sécurité. Contrôle de la sécurité.
Production d'une centrale thermique	Valeur de consigne. Contrôle de tendance. Rapports d'exploitation/production.
Production d'une centrale hydroélectrique	Calcul du débit d'eau. Surveillance du respect des obligations légales (niveaux, débits, etc.). Contrôle des tendances. Valeur de consigne. Signaux de commande transmis aux appareils de régulation locaux. Rapports d'exploitation/production.
Réseau et contrôle de production	Délestage. Contrôle automatique de production et gestion économique de l'énergie. Prévisions en matière de charges. Affectation des groupes.
Fonctions spécifiques du système de téléconduite	Repérage non actualisé des mesures*. Repérage non actualisé des informations contrôlées*.
Analyse post mortem	Etude post mortem. Rapports sur les perturbations du réseau d'énergie électrique en vue d'une analyse immédiate des perturbations. Rapports sur les perturbations du réseau d'énergie électrique en vue d'une analyse ultérieure des perturbations.
Traitement statistique des valeurs	Généralités. Génération de valeurs statistiques. Stockage des statistiques. Contrôle des données statistiques. Correction/complément.
Préparation de rapports statistiques	Généralités. Rapports d'exploitation, des réseaux d'interconnexion. Prévisions en matière de charge (à long terme).
Formation	Simulateur de formation.
* Indication du fait que les mesures et/ou les informations contrôlées ne sont pas mises à jour et sont donc non actualisées.	

Table 1 - Power system functions
(to be satisfied by telecontrol)

Network state determination	Topology determination and state estimation. Network equivalence.
Network analysis	Load flow calculations. Short-circuit calculations. Contingency evaluation. Security monitoring.
Thermal power production	Trend monitoring. Set value. Operation reports/production.
Hydro power production	Calculation of water flow. Supervision of legal obligations (levels, flows, etc.). Trend monitoring. Set value. Control signals to local regulating equipment. Operation reports/production.
Network and generation control	Load shedding. Load-frequency control and economic energy management. Load forecast. Unit commitment.
Specific telecontrol system functions	Non-current tagging of measurands.* Non-current tagging of monitored information.*
Post mortem analysis	Post mortem review. Reports of power system disturbances for immediate disturbance analysis. Reports of power system disturbances for subsequent disturbance analysis.
Statistical value processing	General. Statistical value generation. Storage of statistics. Checking of statistical data. Correction/complementing.
Preparation of statistical reports	General Operation reports, power grids. Load prediction (long term).
Training	Training simulator.
* I.E. indication that measurands and/or monitored information are not being updated, and hence are "non-current".	

Tableau 2 - Fonctions de téléconduite

Télémessure	Acquisition de grandeurs variables. Mise à l'échelle aux unités d'exploitation. Calcul de valeurs composées. Marquage des dépassements de limites. Valeurs d'entrées manuelles
Téléindication	Acquisition de signaux et d'informations d'état. Repérage des données dans le temps. Calcul de valeurs composées. Marquage des dépassements de limites des indications. Entrées manuelles des indications.
Télécomptage	Acquisition d'états de variables intégrées. Mise à l'échelle aux unités d'exploitation. Marquage des dépassements de limites. Entrées manuelles.
Télécommande Télécommutation	Lancement de commandes de changements d'état (commandes discontinues).
Télérégulation Télé réglage	Lancement d'informations de régulation (variables). Blocage.
Contrôle de limites	Contrôle de l'évolution de grandeurs télémessurées vers les limites. Contrôle de l'évolution de grandeurs télémessurées vers les zones interdites. Entrée de valeurs limites.
Traitement des mesures et déclenchement d'alarmes	Classification des mesures dans le système du réseau d'énergie électrique. Acquittement d'alarmes. Effacement d'alarmes. Blocage d'alarmes. Retard d'alarmes.

4.1.4 Gestion des charges

Pour améliorer la caractéristique de charge d'un système, les compagnies d'électricité possédant de vastes réseaux d'énergie proposent parfois des tarifs préférentiels aux consommateurs qui sont prêts à limiter leurs appels de charge à certains moments de la journée, par exemple pour une alimentation en dehors des heures de pointe.

Cela implique la nécessité d'une commande à distance des compteurs et la commutation des alimentations non essentielles telles que l'alimentation des systèmes de chauffage de l'eau. Un tel dispositif n'exige que peu de commandes à des intervalles peu fréquents, mais il peut pourtant y avoir un très grand nombre de récepteurs répartis sur de vastes zones géographiques, et une très bonne fiabilité s'avère nécessaire lorsque la sécurité est impliquée. En outre, cette signalisation n'est généralement nécessaire que vers l'extérieur, dans la mesure où il n'y a pas de signaux de renvoi ou de contrôle en sens inverse.

En outre, un contrôle et une commutation des charges peuvent se révéler essentiels dans des cas particuliers exigeant un délestage de façon à éviter une exploitation hors sécurité du réseau électrique ou des pannes d'électricité.

Table 2 - Telecontrol functions

Telemetry	Acquisition of variable quantities. Scaling to engineering units. Calculation of composite values. Override marking. Manual input values.
Teleindication	Acquisition of state information and signals. Time tagging of data. Calculation of composite values. Override marking of indications. Manual inputting of indications.
Telecounting	Acquisition of integrated variable states. Scaling to engineering units. Override marking. Manual inputting.
Telecommand Teleswitching	Issuing of commands for change of state (discrete).
Teleregulation Telereadjusting	Issuing of regulation information (variable). Blocking.
Monitoring of limits	Monitoring of telemetered quantities against limits. Monitoring of telemetered quantities against forbidden zones. Inputting of limit values.
Event processing and alarming	Classification of events in the power system. Alarm acknowledgment. Alarm clearance. Alarm blocking. Alarm delaying.

4.1.4 Load management

To improve the system load characteristic electrical utilities with large power networks sometimes offer enhanced tariffs to consumers who are prepared to restrict their load demands at certain times of the day, e.g. off-peak power.

This gives rise to a requirement for the remote control of tariff meters and the switching of non-essential supplies like water heating loads. This facility requires relatively few commands at infrequent intervals, although there may be a very large number of terminal receivers spread over wide geographic areas and high reliability is needed if security is involved. In addition, this signalling is usually only required in the outwards direction, as there are no revertive or check-back signals in the reverse direction.

As a separate issue, load control and switching may be essential when particular situations require load relief in order to avoid non-secure electrical network operation or black-outs.

La gestion des charges est plus efficace pour les utilisateurs importants à moyenne tension (MT) ou à haute tension (HT), qui utilisent les plus grosses charges. Les premières techniques appliquées à la gestion des charges employaient la superposition d'audiofréquences à bas niveau sur la fréquence d'alimentation du réseau, et ce procédé est connu sous le nom de télécommande centralisée et continue d'être utilisé. On reconnaît actuellement que les projets de contrôle de charge font partie intégrante du problème global plus vaste de la téléconduite et des télécommunications, et d'autres techniques utilisant des moyens de télécommunications normaux sont utilisées pour une gestion de charge efficace lorsque des utilisateurs de charges importantes sont impliqués et lorsque des conditions de défauts sont possibles.

Dans le cas de gros utilisateurs d'énergie électrique, il peut être souhaitable de mettre en oeuvre des systèmes permettant une transmission bidirectionnelle permettant des opérations de lecture de compteur à distance ou le rapatriement d'informations relatives à l'usager telles que le nombre et la durée des coupures d'énergie.

Au cours des dernières années, on a pu constater un intérêt de plus en plus grand pour les systèmes de gestion des charges utilisant des techniques de radiotélécommunications faisant appel à des systèmes de radiodiffusion pour un fonctionnement unidirectionnel, ou à des réseaux privés ou spécialisés dans le cas de systèmes bidirectionnels.

4.1.5 *Téléprotection*

Egalement nécessaire, la téléprotection n'est pas traitée de la même façon que la téléconduite. Cela est dû au fait que la téléprotection exige une communication entre des points d'un réseau électrique alors que la téléconduite exige une communication qui rayonne à partir du poste de conduite.

La téléprotection permet un fonctionnement sélectif ou coordonné de la protection électrique prévue au niveau des postes électriques situés à chaque extrémité d'une ligne électrique. Cela exige une liaison de télécommunications entre les deux postes électriques d'une ligne.

Suivant le type d'informations transmises, les systèmes de téléprotection peuvent être classés dans deux catégories:

- systèmes à comparaison analogique;
- systèmes à commande.

Les systèmes de protection à comparaison analogique comparent l'amplitude et la phase des courants du réseau électrique à chaque extrémité d'une ligne. Les signaux analogiques sont traités à chaque extrémité de la ligne et sont comparés aux valeurs locales en vue de déterminer s'il y a un défaut interne ou externe à la section de ligne.

Dans les systèmes à commande, les informations transmises entre les extrémités d'une ligne protégée consiste en un changement d'état, d'un état hors circuit à un état en circuit ou vice-versa. Il existe trois méthodes de base pour l'utilisation de signaux de commande simples dans un système de protection: il est possible de donner une commande de «déclenchement» (déclenchement direct), de donner une commande d'avertissement qui permet le déclenchement (protection à distance avec accélération), ou une commande visant à éviter le déclenchement (protection à distance avec verrouillage du déclenchement).

Load management is most effective with the biggest medium voltage (MV) or high voltage (HV) users, who offer the largest loads. The techniques first applied for load management employed superimposition of low level audio frequencies on the network power frequency and this is known as ripple control and is still in use. Today it is recognised that the load control schemes are an integral part of the much larger overall telecontrol and telecommunication problem and other techniques using normal telecommunication media are used for the effective load management when it involves high-load users and conditions of shortage of power are possible.

In the case of large power users it may be desirable to implement systems allowing transmission in both directions that permit return of remote meter reading operations as well as other customer data such as number and duration of power supply failures.

In recent years increasing interest has been shown in the provision of load management systems using radio telecommunication techniques, resorting to broadcasting radio system for one-way operation or to private or dedicated networks in the case of two-way systems.

4.1.5 *Teleprotection*

Of necessity teleprotection is treated in a different way to the telecontrol function. This is because teleprotection requires communication between points on a power network, whereas telecontrol requires communication radially from the control centre.

Teleprotection enables discriminative or coordinated operation of the electrical protection installed at the terminal points of an electrical power line, and this requires a communication link between the two terminal stations of a line.

Teleprotection systems can be classified into two categories according to the type of information that is transmitted:

- analogue comparison systems;
- command systems.

Analogue comparison protection systems compare the amplitude and a phase of the electrical power system currents at each end of a line. The analogue signals are processed at each end of the power line and are compared with the local values to determine if there is a fault which is internal or external to the line section.

In command systems the information transmitted between the ends of a protected line consists of a change of state, OFF-ON or vice versa. There are three basic methods of using simple command signals in a protection system, namely to give a command "to trip" (intertripping scheme); to give an advisory command that permits tripping (permissive trip scheme); or to give a command to prevent tripping (blocking protection scheme).

Dans le mode d'interdéclenchement, la commande peut être utilisée à l'extrémité réception, de façon que le déclenchement s'effectue sans prise en compte de l'état de protection local (déclenchement direct ou par transfert); dans le mode avec accélération, la commande ne peut prendre effet que si la protection locale est en service. En mode de verrouillage, l'action consiste à éviter le fonctionnement du matériel de protection en cas de défaut externe.

Dans chacun des cas, le système à commande exige une téléprotection rapide, fiable et sûre. Ces paramètres sont cependant interdépendants (pour une bande passante donnée), et ce n'est qu'aux dépens de l'autre, ou des autres, que l'un de ces paramètres peut être amélioré. Les conditions requises diffèrent en fonction du type de système utilisé.

Pour une fiabilité donnée et un rapport signal sur bruit du canal de transmission défini, il convient que le temps de transmission maximal pour la téléprotection des systèmes à commande, temps de propagation non inclus, soit:

- inférieur à 20 ms pour les systèmes à verrouillage;
- inférieur à 40 ms pour les systèmes à accélération;
- inférieur à 60 ms pour les systèmes à déclenchement direct.

On notera que les considérations relatives à la stabilité et à la sécurité des réseaux d'énergie électrique peuvent exiger des temps de transmission considérablement inférieurs à ceux indiqués ci-dessus (à savoir de l'ordre de 20 ms pour le déclenchement direct).

La fiabilité est la probabilité de réception correcte de la commande. Elle est obtenue par la formule $1 - P_{mc}$, où P_{mc} est la probabilité de manquer une commande. Pour les temps de transmission donnés ci-dessus et pour un rapport signal sur bruit défini, il convient que la probabilité (P_{mc}) de manquer une commande soit:

- inférieure à 10^{-3} pour le système à verrouillage;
- inférieure à 10^{-2} à 10^{-3} pour les systèmes à accélération;
- inférieure à 10^{-3} à 10^{-4} pour les systèmes à déclenchement direct.

La sécurité est la probabilité de non-occurrence de commandes indésirables ou incorrectes. Elle est obtenue par la formule $1 - P_{uc}$, où P_{uc} est la probabilité d'obtenir une commande erronée. Pour les temps de transmission donnés ci-dessus et pour un rapport signal sur bruit défini, il y a lieu que la probabilité (P_{uc}) d'une commande erronée soit:

- inférieure à 10^{-1} à 10^{-2} pour les systèmes à verrouillage;
- inférieure à 10^{-3} à 10^{-4} pour les systèmes à accélération;
- inférieure à 10^{-5} à 10^{-6} pour les systèmes à déclenchement direct.

La transmission d'une commande de protection sur un moyen de transmission analogique exige généralement une largeur de bande comprise entre 120 Hz et 480 Hz, mais ne dépassant pas 4 kHz.

Les systèmes de protection à comparaison analogique exigent par ailleurs une sécurité et une fiabilité aussi importantes, voire plus importantes, que les systèmes à commande, mais ils exigent également une bonne fidélité de transmission de la forme d'onde analogique. Il faut par ailleurs que le canal de transmission n'amène pas de distorsion aux

In the intertripping mode the command can be used at the receiving end to effect the tripping without taking into account the local protection status (this is also known as direct or transfer tripping); in the permissive mode the command can take effect only if the local protection has operated. In the blocking mode the action is to prevent operation of the protection equipment for an external fault.

In each case command systems require that the teleprotection is fast, dependable and secure. However, these parameters are inter-dependent. (for a given bandwidth) and one can only be improved at the expense of the other(s). The requirements differ according to the type of system in use.

For a defined dependability and signal to noise ratio (S/N) in the transmission path, the maximum teleprotection transmission time for command systems, excluding propagation time, should be:

- less than 20 ms for blocking systems;
- less than 40 ms for permissive tripping systems;
- less than 60 ms for intertripping systems.

Note that power system stability and security considerations may require transmission times considerably less than the above, e.g. 20 ms for intertripping.

Dependability is the probability that the command is correctly received. It is given by $1 - P_{mc}$, where P_{mc} is the probability of a missing command. For the transmission times given above and a defined S/N ratio, the probability (P_{mc}) of a missing command should be:

- less than 10^{-3} for blocking systems;
- less than 10^{-2} to 10^{-3} for permissive tripping systems;
- less than 10^{-3} to 10^{-4} for intertripping systems.

Security is the probability that unwanted or incorrect commands do not occur. It is given by $1 - P_{uc}$, where P_{uc} is the probability of an unwanted command. For the transmission times given above and a defined S/N ratio, the probability (P_{uc}) of an unwanted command should be:

- less than 10^{-1} to 10^{-2} for blocking systems;
- less than 10^{-3} to 10^{-4} for permissive tripping systems;
- less than 10^{-5} to 10^{-6} for intertripping systems.

The transmission of a protection command over an analogue transmission medium usually requires a channel bandwidth between 120 Hz and 480 Hz, but not exceeding 4 kHz.

Analogue comparison protection systems, on the other hand, require a security and dependability as high or higher than for the command systems, but require also good fidelity in the transmission of the analogue waveform. Moreover it is necessary that the communication channel should not distort the variations of the transmitted waveform. The

variations de la forme d'onde transmise. La voie de transmission doit donc généralement être plus large que pour les systèmes de protection à commande et de l'ordre de 4 kHz pour les moyens de transmission analogiques, avec un débit binaire de 19,2 kbits/s à 64 kbits/s ou plus pour les moyens de transmissions numériques.

Le délai de réponse d'un système de protection à comparaison analogique est le temps compris entre le moment du début et la mise en service du contact de sortie de déclenchement. Ce temps est généralement inférieur à 60 ms, des considérations relatives à la stabilité et à la sécurité du système pouvant cependant exiger des délais de réponse considérablement inférieurs à celui indiqué ci-dessus, de l'ordre de moins de 25 ms. D'une manière générale, le délai de réponse est plus long en présence de bruit. Le temps de transmission de la téléprotection, hors temps de propagation, est normalement réduit au minimum, à une valeur de l'ordre de moins de 5 ms.

4.1.6 Radiocommunications avec les postes mobiles

Les radiocommunications avec les postes mobiles offrent un moyen de communication unique avec le personnel se trouvant sur le terrain, en vue de l'exploitation, de l'élimination de défauts, de la réparation et de la construction de réseaux d'énergie électrique, et en vue d'apporter aux consommateurs un service efficace. Son utilisation contribue à l'obtention du degré de fiabilité important auquel parviennent aujourd'hui les compagnies d'électricité, fiabilité indispensable au maintien de la disponibilité de l'alimentation en énergie.

Pour déplacer des équipes de maintenance dans des temps très brefs et pour coordonner leurs activités, il n'existe pas d'autres solutions que la radiocommunication par postes mobiles. Sans cette solution, les pannes du réseau électrique dureraient deux ou trois fois plus longtemps.

Le trafic généré, dans les réseaux d'énergie électrique, par les utilisateurs du réseau de radiocommunications avec les postes mobiles n'est normalement pas plus important que celui généré par les utilisateurs d'autres réseaux privés de radiocommunications avec postes mobiles tels que les sociétés commerciales ou industrielles. Le trafic généré devient cependant beaucoup plus important dans des situations d'urgence, par exemple dans des conditions de mauvais temps (pluie importante, neige, vent, ouragan, etc.), conditions dans lesquelles les pannes et les perturbations risquent d'être beaucoup plus importantes sur les lignes électriques. La taille des réseaux de radiocommunications avec les postes mobiles doit être prévue en tenant compte de ces conditions, de façon que les réseaux ne s'avèrent pas surchargés ou saturés au moment où ils sont justement les plus nécessaires.

Pour le fonctionnement des grands réseaux d'énergie électrique, les types de radiocommunication suivants sont souhaitables:

- a) communications de personne à personne ou de poste mobile à poste mobile pour les courtes distances (de quelques kilomètres), par exemple lors de la construction de lignes ou pour l'étude de lignes;
- b) communications locales, de station de base à poste mobile et/ou de poste mobile à poste mobile, sur des distances de quelques dizaines de kilomètres, par exemple pour couvrir les zones urbaines et suburbaines (la couverture peut être prévue par une simple station de base ou par une station relais appropriée);

transmission channel, therefore, is usually wider than for command protection systems and requires a whole 4 kHz channel in analogue transmission media and a bit rate of 19,2 kbits/s to 64 kbits/s or better in digital transmission media.

The operating time of an analogue comparison protection system is the time from the instant of fault inception to operation of the tripping output contact. This will be generally less than 60 ms although system stability and security considerations may require operating times considerably less than the above, e.g. less than 25 ms. In general the operating time will be increased by noise. The teleprotection transmission time, excluding propagation time, is normally kept small, e.g. less than 5 ms.

4.1.6 *Mobile radio*

Mobile radio provides a unique means of communication with personnel in the field for the operation, fault clearance, repair and construction of electricity networks and for the provision of an efficient consumer service. Its use contributes to the high reliability of the public electricity supply which is achieved today and it is indispensable for maintaining the availability of the supply.

There is no alternative to mobile radio for dispatching maintenance teams at very short notice and for coordinating their activities. Without mobile radio the outages on the electrical network would be two or three times longer in duration.

The traffic offered by the users of mobile radio networks of electric power companies is normally no higher than that offered by users of other private mobile radio networks of commercial or industrial companies. However, the traffic offered becomes much greater in emergency situations, such as during bad weather conditions (heavy rain, snow, wind, hurricanes, etc.) when failures and outages of the electrical power lines are more likely to occur. The dimensioning of the mobile radio networks has to be designed taking into account such conditions, so that the networks do not become overloaded or saturated just when they are most needed.

For large electric power system operation the following types of mobile communications are desirable:

- a) person to person or mobile to mobile communications for short ranges (few kilometres) e.g. during line construction or line survey;
- b) local area communications, base-mobile and/or mobile-mobile for ranges of a few tens of kilometres, such as the coverage of urban and suburban areas (the coverage might be achieved by a single base station or by a suitable repeater station);

c) communications à grande distance, de station de base à poste mobile et/ou de poste mobile à poste mobile, sur des distances de plusieurs dizaines de kilomètres, dans des zones nécessitant plusieurs stations de base ou plusieurs stations relais pour le territoire à couvrir. Des réseaux radiomobiles de type cellulaire peuvent souvent être utilisés lorsque les zones géographiques à couvrir sont vastes.

Les communications pour le type a) peuvent utiliser des fréquences différentes du type b) de façon à éviter les engorgements de fréquences sur les ondes VHF et UHF par exemple. Les communications pour le type c) exigent normalement des réseaux de faisceaux hertziens pour le raccordement entre les stations de base et les stations relais.

Ces types de réseaux sont très pratiques, permettant de réduire le personnel et de coordonner l'exploitation dans une zone correspondant à celle télécommandée par les Bureaux de Conduite Centralisée.

Etant donné le trafic devant être servi et le manque de fréquences appropriées dans la plupart des pays, il convient d'avoir recours à des réseaux du type cellulaire, avec des cellules de tailles différentes en fonction de la densité du trafic et d'autres considérations techniques. Chaque cellule possède un certain nombre de lignes réseau qui sont à la disposition des utilisateurs.

Une autre technique dont l'utilisation présente un certain intérêt, même avec un circuit interrurbain, est la radiodiffusion simultanée qui peut être de deux types: à porteuse synchronisée et à porteuse quasi synchronisée.

Presque tous les réseaux de radiocommunications avec postes mobiles offrent des communications orales et, la plupart du temps, le service exige des possibilités de conférence et une interconnexion avec le réseau téléphonique d'exploitation.

Pour la coordination des nombreuses équipes qui doivent travailler simultanément, la possibilité de conférence est essentielle dans des conditions d'urgence.

En plus de la transmission de la parole, l'exploitation de réseaux électriques exige de nos jours la transmission de données en provenance des postes mobiles et vers ceux-ci. Il est nécessaire d'avoir des messages codés permettant de contribuer à l'allègement du trafic sur les réseaux en réduisant les besoins de communications orales. La transmission de messages écrits devient de plus en plus nécessaire, de façon à gagner du temps lorsque des instructions ou des autorisations écrites doivent être échangées pour les opérations.

Si un poste mobile est équipé pour la transmission de données, il est évident que les réseaux de radiocommunications avec les postes mobiles peuvent être utilisés pour la téléconduite. Il s'agit en fait d'une possibilité fréquemment nécessaire, essentiellement dans le cas des réseaux électriques MT. Une telle caractéristique est très intéressante dans la mesure où elle permet une extension des réseaux de téléconduite sans impliquer l'utilisation de réseaux de communications spécialisés coûteux. La transmission de données sur un réseau mobile exige cependant des normes de qualité, de fiabilité, de disponibilité et de sécurité semblables à celles atteintes dans les réseaux de télécommunications fixes.

Les applications de transmission de données et de téléconduite ne doivent pas aboutir à des valeurs de trafic risquant d'altérer la communication orale, et il convient qu'elle se limite à des services n'exigeant pas un canal disponible en permanence, et donc de trafic assez faible.

c) wide area communications, base-mobile and/or mobile-mobile for ranges of many tens of kilometers in areas that require many base or repeater stations for the territory to be covered. Cellular mobile radio networks can often be used for wide area communication.

Type a) can utilise frequencies different from type b) in order to relieve the frequency congestion, e.g. UHF and VHF. Type c) normally requires microwave radio networks for connection between the base and repeater stations.

Such types of networks are very convenient permitting staff savings and operational coordination in an area corresponding to that telecontrolled by District Control Centres.

Given the traffic to be served and the shortage of suitable frequencies that occurs in most countries, it is very convenient to resort to networks of the cellular type, with cells of different sizes depending on the traffic density and on other technical considerations. In each cell a number of trunked channels are available for the users.

Another technique that can profitably be used, even with trunking, is the simultaneous broadcasting of which there are two types: synchronised carrier and quasi-synchronised carrier.

Most mobile communication networks provide voice communications and much of the time the service requires conferencing facilities and interconnection with the operational telephone network.

Conferencing is essential in emergency conditions for the coordination of the many teams that are required to operate simultaneously.

In addition to voice use, the operation of electrical networks today requires data transmission from or to mobile stations. The need is for coded messages, that can contribute to relief of the traffic on the networks by reducing the need for voice communication. The transmission of written messages is increasingly required in order to save time when written instructions or authorisations are to be exchanged for operations.

Once the mobile station is equipped for data transmission it is evident that the possibility exists of using mobile networks for telecontrol. As a matter of fact this is a facility that is often required, mainly in connection with MV electrical networks. Such a feature is very attractive, because it allows extension of the telecontrol networks without requiring expensive dedicated communication networks. Nevertheless data transmission over a mobile network requires that quality, reliability, availability, dependability and security standards should be similar to those achieved in fixed telecommunication networks.

The telecontrol and data transmission applications should not offer traffic values that impair voice communication, and they should be confined to services not requiring a permanent channel and offering very low traffic.

4.1.7 Réseau informatique

Pour gérer le trafic informatique, il faut soit des circuits spécialisés, soit un système de commutation par paquets.

Les circuits spécialisés sont conseillés en cas de forte utilisation de la ligne, mais ils ne permettent ni un accès direct aux acheminements par voie détournée lorsque l'acheminement direct n'est pas possible ni un acheminement efficace vers plusieurs adresses.

La commutation par paquets est particulièrement appropriée pour des réseaux de données plus importants, lorsqu'on peut avoir accès aux principaux acheminements de données et lorsqu'une possibilité d'accès multiple est nécessaire pour une capacité de données relativement faible de l'utilisateur.

4.1.8 Autres services

Télex, télécopie et courrier électronique

En plus du réseau téléphonique et des installations de contrôle d'ensemble du système, les compagnies d'électricité ont également besoin d'installations de télex et de télécopie, non seulement pour les services généraux et administratifs, mais aussi pour aider à l'exploitation du réseau électrique.

Les téléimprimeurs fonctionnent généralement comme de simples liaisons point à point, et ils sont donc disponibles en continu pour les utilisateurs. Dans de très gros réseaux, lorsque les utilisateurs devant communiquer entre eux sont nombreux, les systèmes de télex peuvent utiliser, tout comme un réseau téléphonique, des centraux de commutation de messages même si les circuits directs sont toujours réservés pour les noeuds principaux du réseau et les centres de contrôle.

Le télex est nécessaire pour la transmission d'informations importantes liées aux opérations, telles que des instructions d'états de commutation extraordinaires et des confirmations de ces états en conditions d'urgence, ou des informations liées à la maintenance et aux réparations sur le réseau électrique.

Pour le télex, des voies spécialisées sont généralement utilisées avec un débit binaire allant de 50 bits/s à 4 800 bits/s. Les débits binaires les plus importants sont réservés aux applications télétex plus évoluées.

La télécopie est de plus en plus largement utilisée du fait du caractère immédiat de la transmission des copies de documents, de schémas et de graphiques, et parce qu'elle utilise le réseau et les postes téléphoniques.

Lorsque la télécopie est utilisée directement pour les opérations, le système téléphonique opérationnel est généralement utilisé comme moyen de communications. Si la télécopie est nécessaire à des fins administratives, le système téléphonique opérationnel peut également être utilisé si cela est autorisé par l'administration des PTT, le réseau téléphonique public pouvant être utilisé sinon.

Le courrier électronique, qui repose sur le stockage et la transmission des messages, peut également être utilisé pour remplacer ou compléter le télex dans le cadre du trafic administratif. Avec le courrier électronique, une «boîte à lettres» est utilisée, et l'utilisateur du service doit consulter sa propre boîte à lettres pour lire les messages qui lui sont destinés. Le courrier électronique utilise des consoles de visualisation.

4.1.7 *Computing traffic*

For handling computing traffic either dedicated circuits or packet switched services are required.

Dedicated circuits are advisable where line utilisation is very high although they do not permit ready access to alternative routes if the direct route fails nor is routing to more than one address very efficient.

Packet switching is particularly suited to larger data networks where the main data routes can be trunked and where multi-access use is required for relatively low data throughput by the user.

4.1.8 *Other Services*

Teleprinting, facsimile, and electronic mail

In addition to the telephone network and the facilities for overall system control, electrical utilities also need teleprinting and facsimile facilities, not only for general and administrative services, but as an important aid to the operation of the electrical network.

Teleprinters are normally operated as simple point-to-point links, so that they are continuously available to the users. Nevertheless in very big networks, where a large number of users have to communicate with one another the teleprinting system can make use of message switching exchanges, like a telephone network, even though direct circuits are always reserved for the main network nodes and control centres.

Teleprinting is required for transmitting important information associated with operations, e.g. instructions for and confirmation of extraordinary switching states under emergency conditions, or in connection with maintenance and repairs on the electrical network.

For teleprinting, dedicated channels are normally used, with bit rates between 50 bits/s and 4 800 bits/s. The higher bit rates are reserved for the more evolutionary teletex applications.

Facsimile is more and more widely used by reason of its immediacy for the transmission of document copies, drawings and graphics and utilises the telephone network and telephone extensions.

If facsimile is used directly for operations the operational telephone system is generally used as the communication media. If facsimile is required for administrative purposes the operational telephone system may also be used, if permitted by the PTT, otherwise the public telephone network is used.

Electronic mail, which is based on the storage and forwarding of messages, may also be used in place of or as well as teleprinting for administration traffic. With electronic mail a "mail-box" is used requiring the recipient to access his own mail-box to read messages destined for him. Electronic mail makes use of VDU terminals.

4.2 Compatibilité électromagnétique

Le premier problème qui apparaît dans le cas de liaisons de communications ayant au moins une des extrémités raccordée à un poste électrique est la montée du potentiel de terre par suite de la mise à la terre temporaire (défaut de court-circuit) d'un conducteur d'un circuit électrique HT ou d'un jeu de barre. Pendant quelques dizaines de millisecondes, jusqu'à ce que le défaut soit éliminé par l'action d'un ou de plusieurs disjoncteurs, le potentiel de terre local peut se révéler très différent du potentiel de terre distant. Si un circuit de télécommunications métallique est utilisé pour raccorder la station électrique à un autre endroit, il sera soumis à une tension de mode commun qui est appliquée à l'entrée/sortie du matériel de raccordement et qui peut provoquer des détériorations du matériel et/ou mettre le personnel en danger.

En outre, du fait du déséquilibre dans le circuit de télécommunications, les tensions de mode commun peuvent devenir des tensions de mode différentiel, ce qui risque d'engendrer une sérieuse détérioration du matériel de télécommunications.

Le deuxième problème est celui des surtensions dues à la foudre et aux autres décharges électriques se produisant lors de l'ouverture de disjoncteurs et de sectionneurs. La foudre peut toucher le matériel de télécommunications par l'intermédiaire des ateliers d'énergie, des télécommunications, et par les pylônes. La foudre peut également relever le potentiel de terre local, engendrant des chocs de tension à l'entrée/sortie du matériel de télécommunications.

D'autres problèmes peuvent résulter de l'induction due au passage de courants de défaut ou de courants de surcharge dans les lignes électriques et les jeux de barre des installations.

Pour faire face aux problèmes ci-dessus, qui sont des problèmes classiques pour le matériel monté dans des installations électriques, les centrales électriques et les postes du réseau, il est nécessaire d'utiliser un matériel assurant à la fois la limitation des dommages (c'est-à-dire la capacité, pour le matériel, de ne pas être détérioré) et l'insensibilité (c'est-à-dire la capacité pour le matériel d'assurer ses caractéristiques de fonctionnement sans aucune perturbation). En outre, le matériel ne doit émettre aucun rayonnement ni aucune autre perturbation risquant de perturber d'autres matériels.

En fonction du site et de l'environnement électrique, tout ou partie des exigences ci-après doivent être prises en considération (consulter, cependant, pour plus de détails les documents ou publications appropriés de la CEI) :

- résistance d'isolement minimale à la terre (de 10 M Ω à 100 M Ω);
- tension de tenue électrique (de 1 kV à 2 kV, c.a., ou de 1 kV à 3 kV, c.c.) pendant 1 min;
- tension de tenue aux chocs (1 kV à 5 kV; 1,2/50 μ s; dans certaines circonstances, des valeurs plus importantes peuvent être utilisées, par exemple 6 kV ou plus, 0,1/2 000 μ s);
- insensibilité aux impulsions de courant (jusqu'à 500 A; 8/20 μ s);
- insensibilité aux impulsions de tension (2 kV; 10/700 μ s);
- insensibilité aux courtes interruptions d'alimentation (de 10 ms à 500 ms);
- insensibilité aux déformations de la tension d'alimentation alternative (jusqu'à 15 %);

4.2 *Electro-magnetic compatibility (EMC)*

The first problem that arises when dealing with telecommunication links having at least one of its ends terminated in an electrical station is the rise in the earth potential as a result of a conductor of an electrical HV circuit or a station busbar being temporarily connected to earth (short circuit fault). For a few tens of milliseconds, until the fault is disconnected by operation of a circuit breaker(s), the potential of the local earth can be very different from the potential of the remote earth. If a metallic telecommunication circuit is used which connects the station with another site it will be subjected to a common-mode voltage that is applied to the input/output of the terminal equipment and can cause damage to the equipment and/or danger to personnel.

Moreover, due to unbalance in the telecommunication circuit the common mode voltages can result in differential mode voltages which can cause serious damage to telecommunication equipment.

The second problem is that of overvoltage due to lightning and other electrical discharges when opening circuit breakers and isolators. Lightning can reach the telecommunication equipment via power supplies, communication circuits, and aerial towers. Lightning can also raise the local earth potential causing impulsive voltages at the input/output of telecommunication equipment.

Further problems can arise from induction due to the passage of load or fault currents in electrical power lines and station busbars.

In facing all the above problems, which are typical for equipment installed in electrical plants, power stations and substations, it is necessary to make use of equipment that ensures both damage limitation (i.e. the capability of the equipment not to be damaged) and immunity (i.e. the capability to perform its operational characteristics without any disturbance). Furthermore, no radiation or other disturbances should be emitted which could disturb other equipment.

Depending on the site and on the electrical environment, some or all of the following requirements shall be taken into account (but see the relevant IEC documents and/or publications for details):

- minimum insulation resistance to earth (10 M Ω to 100 M Ω);
- electrical insulation withstand (1 kV to 2 kV, a.c. or 1 kV to 3 kV, d.c.) for 1 min;
- impulse withstand (1 kV to 5 kV; 1,2/50 μ s; higher values may also apply in certain circumstances, e.g. 6 kV or more, 0,1/2 000 μ s);
- immunity to current impulses (up to 500 A; 8/20 μ s);
- immunity to voltage impulses (2 kV; 10/700 μ s);
- immunity to short supply interruptions (10 ms to 500 ms);
- immunity to distorted a.c. power supply voltage (up to 15 %);

- insensibilité aux tensions alternatives résiduelles sur l'alimentation continue (0,2 à 15 crête à crête; 100 Hz);
- insensibilité aux tensions alternatives et continues (10 V à 250 V) sur les accès signaux (métallique);
- insensibilité à des trains d'oscillations sinusoïdales sur l'accès alimentation (20 ms; 0,01 MHz à 1 MHz; 10 V à 100 V);
- insensibilité à des oscillations sinusoïdales amorties sur les accès signaux (0,1 MHz à 1 MHz; 0,2 kV à 2,5 kV);
- insensibilité aux décharges électrostatiques (5/30 ns; 2 kV à 15 kV);
- insensibilité à un champ magnétique 50 Hz (1 s; 0,1 kA/m à 1 kA/m);
- insensibilité à un champ magnétique impulsionnel (8/20 μ s; 0,1 kA à 1 kA);
- insensibilité à un champ magnétique amorti (0,1 MHz à 1 MHz; 10 A/m à 100 A/m);
- insensibilité à un champ électromagnétique rayonné (champ continu et modulé, 10 V/m ou plus dans la plage de fréquences de 100 kHz à 1 GHz), provenant par exemple d'un talkie-walkie portatif;
- insensibilité aux transitoires de commutation jusqu'à 300 V/m.

En dehors des entrées d'alimentation c.c. et des raccordements RF aux antennes, il convient que toutes les autres entrées/sorties soient équilibrées et isolées du sol.

Lorsque les disjoncteurs ou les sectionneurs s'ouvrent, ils génèrent des décharges électriques produisant des niveaux de bruit très élevés dans les circuits de télécommunications. La puissance de bruit peut facilement dépasser le niveau des signaux transmis par les courants porteurs sur ligne d'énergie et si le traitement appliqué aux signaux n'est pas extrêmement soigné, la transmission risque donc d'être perdue lors de ces décharges.

Les décharges électriques génèrent également un rayonnement d'ondes électromagnétiques dont le spectre est relativement large. Parmi les causes de bruit électromagnétique émis, il y a les micro-décharges sur les isolateurs défectueux ou présentant des surfaces sales ou encore dans d'autres appareils électriques.

Tout cela signifie qu'il convient de faire extrêmement attention lorsqu'on utilise des récepteurs radio travaillant en bandes LF, MF, HF et dans les bandes basses des VHF, et qu'il convient de veiller à ce que les valeurs reçues soient supérieures à la pratique habituelle. A 160 MHz par exemple, des altérations du facteur de bruit de quelques décibels ont été mesurées dans des zones situées à proximité de stations électriques. Ces altérations, dont la densité du spectre de puissance décroît avec la fréquence, sont négligeables pour les UHF et les faisceaux hertziens.

4.3 *Autres conditions requises*

Dans les paragraphes qui précèdent, nous avons vu que les systèmes d'alimentation en énergie électrique ont besoin de réseaux de télécommunications très fiables et toujours disponibles. L'acheminement des signaux par parcours détourné et la redondance de parcours ne permettent pas à eux seuls d'assurer la fiabilité et la disponibilité. Il faut également que la fiabilité et la disponibilité soient très importantes sur chaque tronçon, de façon à garantir la sécurité requise par les services, même en cas de panne sur l'un des tronçons. En outre, si les performances de transmission sur chaque tronçon ne sont pas assez bonnes, le signal reçu à chaque extrémité d'une liaison, lequel est obtenu par sélection ou association, peut être affecté par l'instabilité de phase qui peut altérer considérablement la transmission des données et la téléconduite.

- immunity to residual a.c. on d.c. power supply (0,2 Vpp to 15 Vpp; 100 Hz);
- immunity to a.c. and d.c. voltages (10 V to 250 V) on signal inputs (metallic);
- immunity to trains of sinusoidal oscillations on supply inputs (20 ms; 0,01 MHz to 1 MHz; 10 V to 100 V);
- immunity to damped sinusoidal oscillations on signal inputs (0,1 MHz to 1 MHz; 0,2 kV to 2,5 kV);
- immunity to static energy discharge (5/30 ns; 2 kV to 15 kV);
- immunity to 50 Hz magnetic field (1 s; 0,1 kA/m to 1 kA/m);
- immunity to impulsive magnetic field (8/20 μ s; 0,1 kA to 1 kA);
- immunity to damped magnetic field (0,1 MHz to 1 MHz; 10 A/m to 100 A/m);
- immunity to radiated electromagnetic field (continuous and modulated field, 10 V/m or more within the frequency range 100 kHz to 1 GHz). For example, from a hand-held "walkie-talkie";
- immunity from switching transients up to 300 V/m.

Apart from d.c. supply inputs and RF connections to antennae, it is desirable that all the other inputs/outputs be balanced and insulated from ground.

When circuit breakers or isolators open, they generate electrical discharges producing very high noise levels in the telecommunication circuits. The noise power can easily exceed the level of signals transmitted by power line carrier systems, so that during the discharges transmission may be lost, unless very careful signal processing is applied.

Electrical discharges also generate radiation of electromagnetic waves having quite a broad spectrum. Among the causes of electromagnetic radiated noise are micro-discharges on faulty insulators or insulators with dirty surfaces or in other electrical devices.

All these circumstances mean that careful attention has to be observed when operating radio-receivers working at LF, MF, HF and the low bands of VHF by ensuring that the received field values are higher than usual practice. At 160 MHz, for example, noise figure impairments of some decibels have been measured in the areas occupied by electrical stations. These impairments, which have a power spectrum density decreasing with frequency, can be neglected for UHF and microwaves.

4.3 Other requirements

In the foregoing subclauses we have seen that electric power systems need telecommunication networks that are very reliable and always available. Reliability and availability cannot be ensured simply by providing alternative signal routing and path redundancy. They require also high reliability and availability on each path, so that the dependability required by the services is ensured even in the case of failure of one of the paths. Moreover, if the transmission performance of each path is not good enough the signal received at each end of a link, obtained by selection or combination, may be affected by phase jitter that can considerably impair data transmission and telecontrol.

Une autre condition requise concerne les temps de réponse, lesquels doivent être courts et stables. Lorsqu'on utilise des systèmes de transmission numérique, il convient également de faire attention aux problèmes de temporisation et de synchronisation.

Les réseaux de télécommunications des réseaux d'énergie électrique doivent également être souples. Les nombreuses modifications requises à mesure que les paramètres du réseau électrique et la configuration varient impliquent que le réseau de télécommunications soit capable de s'adapter aux différentes situations. Normalisation, compatibilité ascendante, bande passante de réserve et canaux de réserve sont certaines des caractéristiques qui doivent être celles d'un réseau de télécommunications.

En ce qui concerne la souplesse du réseau, une amélioration importante peut être obtenue dans les réseaux numériques en faisant appel à un multiplexeur programmable et téléprogrammable capable de commuter les entrées/sorties des voies sur des créneaux temporels différents. Un matériel de dérivation avec affectation de voie programmable doit également être utilisé pour des raisons similaires. Il convient que toutes ces caractéristiques soient assurées par un système approprié de gestion du réseau de télécommunications.

Il résulte des considérations ci-dessus que les compagnies d'électricité ont besoin de réseaux de télécommunications très spécifiques possédant des caractéristiques qui ne peuvent généralement pas être assurées par des réseaux publics dans la mesure où ceux-ci sont conçus et optimisés pour d'autres services et d'autres exigences. Pour les applications d'exploitation très strictes concernant la génération et le transport, les compagnies d'électricité les plus développées sont en fait toujours servies par des réseaux spécialisés.

Si l'on considère des conditions d'urgence telles que des catastrophes naturelles, des inondations, des tempêtes de neige ou des tremblements de terre impliquant la maintenance et le rétablissement rapide de l'alimentation publique en énergie électrique, une compagnie d'électricité ne peut pas compter sur des systèmes utilisés en temps partagé avec d'autres services et établissements qui peuvent eux-mêmes se trouver surchargés du fait des mêmes conditions d'urgence.

Comme nous l'avons déjà dit, les réseaux de télécommunications des compagnies d'électricité doivent être conçus et équipés de façon à servir le trafic prévu dans des conditions d'urgence, et cela doit être pris en considération également lors du choix des divers moyens de transmission.

A titre d'exemple, il est évident que la disponibilité d'une voie à courants porteurs sur ligne d'énergie est en corrélation avec la disponibilité des lignes électriques aériennes sur lesquelles elle travaille. Cette voie CPL ne doit être utilisée que pour les services de télécommunications périphériques, dans la mesure où il ne s'agit généralement pas du meilleur choix pour les communications grande distance exigeant plusieurs sections en cascade. De la même façon, lorsque la disponibilité doit être indépendante de la disponibilité des lignes électriques aériennes, la solution des voies CPL n'est pas appropriée.

Cet argument s'applique également aux systèmes de télécommunications reposant sur des câbles à fibres optiques supportés par des lignes électriques aériennes. La disponibilité d'une liaison à fibres optiques dépend de la disponibilité et de la durée moyenne de réparation des lignes électriques aériennes sur lesquelles elle est installée.

Another requirement concerns response times. The response times should be short and stable. Attention should also be paid to timing and synchronisation problems when digital transmission systems are used.

Telecommunication networks for power systems also have to be flexible. The many changes required as the power network parameters and configuration alter make it desirable that the telecommunication network be capable of adapting to the different situations. Standardisation, upwards capability, spare bandwidth and spare channels are some of the necessary features of the telecommunication network.

A noticeable improvement to the network flexibility can be achieved in digital networks by resorting to programmable and teleprogrammable multiplex equipment capable of switching their channel input/outputs to different time-slots. Also programmable drop-insert and branching equipment should be employed for similar reasons. All these features should be provided by a suitable telecommunication network management system.

From the above considerations it appears that electric power utilities need very special telecommunication networks, having characteristics that usually cannot be provided by public networks, as these are designed and optimised for other services and other requirements. In fact, for the very demanding operational applications of generation and transmission, the most developed electric power utilities are always served by dedicated networks.

If one considers emergency conditions such as natural disasters, floods, blizzards or earthquakes requiring the maintenance and rapid restoration of public electricity supply, an electric utility cannot rely on systems shared with other services and utilities which may themselves be overloaded by reason of the same emergency conditions.

It has already been said that just as telecommunication networks for power utilities should be designed and equipped in order to serve the traffic foreseen in emergency conditions, so these same circumstances shall also be taken into account when choosing the various transmission media.

As an example it is evident that the availability of a PLC channel is correlated with the availability of the electrical overhead line on which it works, so that PLC should only be used on peripheral telecommunication services, as it may not be the best choice for long range communications, requiring many sections in cascade. Similarly, where the availability has to be independent of the availability of electrical overhead lines, PLC should not be used.

This argument is applicable also to telecommunication systems based on optical fibre cables supported on overhead electrical lines. The availability of an optical fibre link depends on the availability and mean time to repair (MTTR) of the electrical overhead lines on which it works.

Que le système utilisé sur les lignes d'énergie soit un système à CPL ou à fibres optiques, il est conseillé d'assurer une redondance sur plusieurs tronçons et il est également souhaitable qu'au moins l'un des tronçons soit équipé d'un autre support de transmission comme une liaison radio par exemple.

Ce dernier point est également important du point de vue économique. La capacité normalement requise pour les compagnies d'électricité signifie en fait qu'il peut se révéler moins coûteux d'utiliser des liaisons radio, lesquelles peuvent également être utilisées pour le raccordement entre les émetteurs relais afin d'assurer des réseaux appropriés de radio-communications avec postes mobiles.

Un autre point concerne les alimentations requises par les services de télécommunications. Les alimentations c.c. basse tension, par exemple à 48 V, exigent un secours batterie d'une capacité normale de 6 h. Les alimentations secteur c.a. exigent des alimentations électriques sans interruption, avec secours par groupes électrogènes diesel, pourvu d'un réservoir de combustible pour une capacité de plusieurs jours.

Compte tenu de toutes les considérations qui précèdent, il apparaît comme impératif d'utiliser les services d'un spécialiste de la profession pour la conception des systèmes de télécommunications d'une compagnie d'électricité.

5 Impact sur l'équipement de télécommunications

5.1 Moyens de transmission

Le présent paragraphe n'a pas la prétention de donner une description détaillée des moyens de transmission disponibles et pouvant être utilisés par une compagnie d'électricité, mais il souligne les aspects considérés comme importants. Les normes internationales (CEI, CCITT, CCIR, etc.) donnent tous les renseignements détaillés pouvant se révéler nécessaires.

La figure 10 indique les divers moyens de transmission pouvant être mis à la disposition de l'utilisateur pour l'acheminement des informations entre un point et un autre.

Plusieurs critères doivent être pris en considération lors du choix d'un moyen de transmission particulier à savoir:

- le nombre de voies nécessaire;
- la capacité de transmission requise pour chaque voie;
- les contraintes à respecter, par exemple du point de vue géographique et juridique, ou du fait des distances, des fréquences pouvant être utilisées, des activités terroristes, ou des alimentations;
- la fiabilité et la qualité requises par le système.

5.1.1 Câbles pilotes appartenant à la compagnie d'électricité

Les compagnies d'électricité utilisent fréquemment leurs propres câbles pilotes pour les systèmes de protection et de télécommunications. Ces câbles sont généralement enterrés dans les mêmes tranchées que les câbles HT. Du fait de l'induction des câbles HT, tout particulièrement en cas de défaut du réseau électrique, une attention particulière doit être observée lors de la pose des câbles pilotes.

Thus when using PLC or fibre-optics on power lines it is advisable to provide redundancy of different paths and it is also desirable that at least one of the paths be provided by an alternative media such as radio links.

This last point is important also in relation to economic considerations. In fact the capacity normally required for electric utilities means that it may be cheaper to use radio links, which can also be used for interconnecting repeater stations to provide suitable mobile radio system networks.

A further point concerns the power supplies required by the telecommunication services. Low voltage (e.g. 48 V d.c.) supplies require battery back-up of normally six hours capacity. Main a.c. supplies will require uninterrupted power supplies backed up by diesel-alternators with fuel tank storage of many days capacity.

All these considerations make it imperative to use the services of professional specialist support in designing the telecommunication services of an electrical power utility.

5 Impact on telecommunication provision

5.1 Transmission media

This subclause is not intended to give a detailed description of the transmission media available for use by an electrical power utility but highlights those aspects considered to be important. The international standards (IEC, CCITT, CCIR, etc.) give all the detailed information that may be required.

Figure 10 indicates the various telecommunication transmission media that may be available to the user for conveying information from one point to another.

There are several criteria that have to be observed in selecting a particular transmission medium. These criteria are:

- How many channels are required?
- What is the required transmission capacity for each channel?
- What constraints are there? For example: geographical, regulatory, distances, frequencies available for use, terrorist activity, power supplies;
- What are the required reliability and quality for the system?

5.1.1 Pilot cables owned by the utility

Electrical power utilities frequently make use of their own pilot cable for protection and telecommunication services. These cables are usually run underground in cable trenches and are frequently laid in the same trenches as HV cables. Because of this, great care needs to be taken in handling pilot cables due to the presence of induction from the HV cables, especially when there is a power system fault.

Il faut également veiller à assurer un équilibrage électrique suffisant des câbles, de façon que l'induction des câbles haute tension ne rende pas les moyens de communications inutilisables.

A des fins de télécommunications, il convient d'utiliser des câbles par paires équilibrées. Ces câbles peuvent être protégés par des éléments tels que des transformateurs d'isolement ou d'équilibrage, et par des composants non linéaires (par exemple blocs de carbure de silicium ou tubes à gaz) de façon à limiter les tensions dangereuses. A noter que l'utilisation de tels composants sur des circuits utilisés pour la téléprotection risque cependant d'avoir des effets indésirables (voir figure 11). Pour réduire la tension induite, le câble peut être décomposé en sections séparées par des transformateurs d'isolement intermédiaires. L'atténuation des câbles pilotes peut être relativement importante, et seuls des signaux BF jusqu'à 4 kHz environ sont généralement utilisables. L'utilisation de ces câbles sans amplification se limite donc à des distances de l'ordre de 10 km à 15 km.

5.1.2 *Circuits loués auprès de l'administration des PTT*

Les circuits de télécommunications peuvent être loués aux PTT pour un loyer annuel plus un droit de raccordement initial. Les circuits analogiques et numériques peuvent être loués pour fournir respectivement des voies basses fréquences (300 Hz à 3 400 Hz) ou des voies à 64 kbits/s. Des bandes passantes plus larges permettent de fournir plus de voies, par exemple 12 voies dans la plage de 60 kHz à 108 kHz (multiplexage spatial) ou 30 voies à 2,048 Mbits/s, ou 24 voies à 1,544 Mbits/s (multiplexage temporel).

Les PTT peuvent tout à fait imposer certaines restrictions quant à l'utilisation de leurs circuits, tout particulièrement lorsque les circuits doivent entrer dans des locaux HT. Des transformateurs d'isolement peuvent se révéler nécessaires ainsi que des composants non linéaires, afin de limiter les tensions dangereuses. A noter que l'utilisation de tels composants sur des circuits utilisés pour téléprotection peuvent cependant avoir des effets indésirables. Lorsque des circuits de téléprotection c.c. s'avèrent nécessaires, des transformateurs d'équilibrage peuvent être utilisés pour annuler la montée du potentiel de terre et les tensions induites dans les câbles métalliques.

5.1.3 *Courants porteurs sur ligne d'énergie (CPL)*

a) *Principe*

Les compagnies d'électricité ont un caractère qui leur est propre par le fait même qu'elles ont à leur disposition des supports physiques très fiables, à savoir les lignes d'énergie, qui assurent la liaison entre les points de génération et de consommation et peuvent transmettre des signaux de télécommunications. Dans la mesure où la ligne de transmission haute tension est utilisée comme moyen de communications, il n'est pas possible de transmettre directement la bande basse fréquence utile car, dans cette bande, les fréquences sont trop proches de la fréquence du réseau d'alimentation. Il est donc nécessaire de transposer la bande basse fréquence par une modulation appropriée afin d'occuper une partie différente du spectre fréquentiel. Un matériel à courants porteurs sur ligne d'énergie a donc été spécifiquement conçu pour être utilisé sur un réseau d'énergie. Par la modulation BLU haute fréquence, les courants porteurs sur ligne d'énergie permettent de transmettre des informations analogiques. Bien qu'essentiellement conçus pour utiliser une transmission par câbles aériens, les courants porteurs sur ligne d'énergie peuvent également être utilisés pour des communications:

- sur câbles d'énergie sous-marins ou souterrains;
- sur câble incorporé à des câbles de garde (câbles coaxiaux ou à quartes).

Care also needs to be taken to ensure that the electrical balance of the cables is sufficient so that induction from HV cables does not make the communication media unusable.

For telecommunication purpose, cables having balanced, twisted pairs should be used. These cables can be protected by such devices as isolating or neutralising transformers, with non-linear devices (e.g. carbon blocks or gas tubes) to limit dangerous voltages, although the use of these on circuits used for teleprotection may be undesirable (see figure 11). In order to reduce the induced voltage the cable may be sectionalised by intermediate isolating transformers. The attenuation of the pilots may be quite high and usually only audio frequencies up to say 4 kHz, are usable. Hence distances over which such cables may be used without amplification may be limited to 10 km to 15 km.

5.1.2 *Circuits leased from PTT's*

Telecommunication circuits may be leased from the PTT for an annual rental charge and an initial connection fee. Analogue and digital circuits may be hired to provide audio (300 Hz to 3 400 Hz) or 64 kbits/s channels respectively. Wider bandwidths are available to provide more channels, for example 12 channels in the range 60 kHz to 108 kHz (FDM) or 30 channels at 2,048 Mbits/s or 24 channels at 1,544 Mbits/s (TDM/PCM).

The PTT may well impose certain restrictions on the use of their circuits particularly where circuits have to enter HV premises. Isolation transformers will be necessary as well as non-linear devices to limit dangerous voltages although the use of these on circuits used for teleprotection may be undesirable. Where d.c. teleprotection circuits are required, neutralising transformers can be used to cancel the earth potential rise (EPR) and the induced voltages in metallic cables.

5.1.3 *Power line carrier (PLC)*

a) *Principle*

The electricity industries are unique in that they have available to them very reliable physical paths, i.e. the transmission power lines which interconnect the points of generation and load and over which telecommunication signals can be transmitted. Since the high-voltage transmission line is used as the communication medium, it is not possible to transmit the useful audio frequency band directly, because the frequencies in this band are too close to power system frequency and hence it is necessary to translate the audio band by suitable modulation to occupy a different part of the spectrum. For this power line carrier equipment has been specifically designed for use on a power network. PLC permits, by high frequency SSB (Single Side Band) modulation, the transmission of analogue information. Although primarily intended to utilise overhead transmission power lines, PLC can also be used for communication over:

- submarine or underground power cables;
- cable incorporated into ground wires (coaxial or quadded cables).

b) *Fréquences des CPL*

La plage de fréquences appropriée pour une transmission classique par courants porteurs sur ligne d'énergie s'étend de 30 kHz à 500 kHz (490 kHz dans certains pays), la limite inférieure étant fixée par les contraintes techniques et le coût du matériel de couplage, et la limite supérieure étant fixée par l'affaiblissement en ligne et par le rayonnement. La plage de fréquences réelle pouvant être utilisée dans un pays particulier doit tenir compte des besoins des divers services radioélectriques et de radiodiffusion, y compris des systèmes de navigation aéronautique et maritime, ainsi que de toute contrainte ou réglementation locale ou nationale.

c) *Applications*

Une voie à basse fréquence de bande passante s'étendant jusqu'à 4 kHz (2,5 kHz dans certains pays) est disponible et peut être utilisée pour transporter:

- soit des informations analogiques sous forme de parole,
- soit de la parole plus des données, les données étant des données de télémesure, de téléconduite, de téléprotection, etc.

d) *Bruit et rapport signal/bruit admissible:*

Les liaisons à courants porteurs sur ligne d'énergie sont soumises à deux principaux types de bruit:

- i) des tensions perturbatrices du type bruit blanc continu et uniforme (bruit de fond) provoquées par des décharges électriques irrégulières au niveau des disjoncteurs et des conducteurs (effet couronne ou décharge en aigrette).
- ii) de courtes impulsions perturbatrices ou des salves brusques provoquées par le fonctionnement de disjoncteurs et de sectionneurs ou par la foudre, les tensions d'arc, etc.

Ces niveaux de bruit déterminent la qualité de la liaison par courants porteurs sur ligne d'énergie. La limite du rapport signal sur bruit admissible est définie dans la CEI 663.

e) *Les CPL offrent*

- une liaison longue distance (en fonction de la puissance et de la fréquence de transmission plusieurs centaines de kilomètres sans répéteur);
- une très grande disponibilité du matériel;
- une très grande fiabilité du matériel.

En dépit de ces nombreux avantages, il existe certaines restrictions:

- une bande passante BF étroite et donc un très petit nombre de canaux;
- un spectre haute fréquence disponible étroit;
- un affaiblissement plus important du fait de l'utilisation des transpositions de ligne haute tension;
- une dépendance vis-à-vis de la disponibilité des lignes électriques.

5.1.4 *Service de radiocommunications fixe*

Ce paragraphe traite des liaisons radio fixes: faisceaux hertziens et UHF.

a) *Caractéristiques principales*

Les radiocommunications sont largement utilisées pour les télécommunications des réseaux d'énergie et ce pour les raisons suivantes:

- isolement galvanique,
- indépendance vis-à-vis des lignes d'énergie;

b) *PLC frequencies*

The range of frequencies suitable for conventional power line carrier transmission extends from about 30 kHz to 500 kHz (in some countries 490 kHz), the lower limit being fixed by the limitations and cost of the coupling equipment, and the upper limit by line attenuation and radiation. The actual range of frequencies available for use in a particular country should take into account the needs of various radio services and broadcasting services, including aeronautical and maritime navigation systems together with any local or national restrictions or regulations.

c) *Applications*

Any audio frequency channel of up to 4 kHz bandwidth (in some countries 2,5 kHz) is available and can be used to carry:

- either analogue information in the form of speech, or
- speech plus data (S + D), the data consisting of telemetering, telecontrol, tele-protection, data, etc.

d) *Noise and permissible signal to noise ratio*

Power line carrier links are subject to two main types of noise:

- i) Sustained white noise-like voltages (random noise) caused by irregular electrical discharges across insulators and conductors (corona or brush discharge).
- ii) Short spikes and bursts of high amplitude caused by operation of isolators and breakers or by lightning, flashovers and the like.

These noise levels determine the PLC link quality. The permissible signal to noise ratio limit is defined in IEC 663.

e) *PLC offers:*

- long range on a single link (several hundred kilometers without repeater depending on the transmitter power and frequency);
- very high equipment availability;
- very high equipment reliability.

In spite of the many advantages, there are some limitations:

- narrow AF bandwidth and hence very low number of channels;
- narrow available HF spectrum;
- attenuation increase due to use of HV line transpositions;
- dependence on electrical line availability.

5.1.4 *Fixed link radio*

This subclause is intended to cover fixed radio links: microwave and UHF.

a) *Main features*

Radio links are widely used to provide power system telecommunication services for the following reasons

- galvanic isolation;
- independence from power lines;

- grand nombre de circuits;
- faible coût par comparaison aux autres moyens de transmission;
- possibilité de services supplémentaires assurés relativement facilement et à faible coût;
- maintenance facile (les équipements ne se trouvent que dans quelques sites);
- grande qualité et excellente fiabilité.

Les radiocommunications sont cependant confrontées à des difficultés fondamentales de réalisation, à savoir:

- l'obtention d'affectations de fréquences appropriées;
- les problèmes de propagation liés à la fréquence et aux évanouissements (la disponibilité n'est pas totale lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises);
- le coût des répéteurs et la nécessité d'alimentations électriques spécifiques;
- les difficultés de raccordement des sites à basse altitude.

b) *Considérations liées à la conception*

La première étape consiste à déterminer les emplacements exacts devant être raccordés et la capacité de transmission nécessaire. Elle permet donc de déterminer la plage de fréquences appropriée. Le bilan des pertes de la liaison radioélectrique peut être déterminé en calculant les éléments suivants:

- la perte en espace libre;
- les pertes supplémentaires sous forme d'évanouissement, parfois important, du signal (obstacles, variation de l'indice de réfraction de l'atmosphère, absorption, réflexions, etc.);
- calculs d'interférences.

Le matériel nécessaire peut alors être défini:

- station terminale;
- répéteur;
- type de guide d'ondes;
- type d'antennes;
- hauteur des pylônes.

On trouvera un exemple typique de liaison radio à la figure 12.

c) *Fréquences disponibles*

Les affectations de fréquences sont généralement faites par l'administration nationale chargée des fréquences. On trouvera des informations à ce sujet dans les publications du CCIR et de l'UIT.

5.1.5 *Radiocommunications avec les postes mobiles*

Les radiocommunications avec les postes mobiles utilisant les bandes VHF (bande de 70 MHz à 165 MHz) et UHF (bande de 400 MHz à 470 MHz) en utilisant la modulation d'amplitude ou la modulation de fréquence (modulation de phase).

Dans sa configuration la plus simple, un système de radiocommunications avec postes mobiles dans la bande VHF est formé d'une station de base généralement située le plus haut possible, et d'un certain nombre d'unités mobiles, chacune d'elles étant équipée d'émetteurs/récepteurs.

- large number of circuits;
- low cost in comparison with other media;
- additional services can be provided relatively easily and at low cost;
- easy maintenance (the equipments are located at a few sites only);
- high quality and high reliability.

However there are fundamental difficulties in the provision of radio links i.e.:

- obtaining suitable frequency assignments;
- propagation problems depending on frequency and fading (non-total availability during adverse weather);
- repeater cost and need for power supplies;
- difficulties in linking low altitude stations.

b) *Design considerations*

The first stage is to determine the exact locations which are to be interconnected and the necessary transmission capacity. This first approach will then determine the appropriate frequency range. The radio path loss budget can be determined by calculation of:

- free space loss;
- additional losses in the form of fading, sometimes deep (obstacles, variation in refractive index of the atmosphere, absorption, multipath reflections, etc.);
- interference calculations.

Then, all the necessary equipments can be defined as follows:

- terminal equipment;
- repeater equipment;
- type of wave guide feeder;
- type of antennae;
- height of towers.

An example of typical radio link is given in figure 12.

c) *Frequencies available*

Frequency assignments are generally made by the national frequency administration. Information is provided in ITU and CCIR publications.

5.1.5 *Mobile radio*

Mobile radio makes use of VHF (70 MHz to 165 MHz band) and UHF (400 MHz to 470 MHz band) using AM or FM (PM).

At its simplest, mobile radio in the VHF band consists of a base station usually located at as high a point as possible and a number of mobile units, each equipped with transceivers.

5.1.6 *Fibres optiques*

Une liaison par fibres optiques est caractérisée par les propriétés principales ci-après:

- une très large bande passante;
- une atténuation très faible;
- une insensibilité aux interférences électromagnétiques;
- un faible poids et une dimension réduite du câble;
- une fiabilité inconnue mais vraisemblablement bonne;
- un coût élevé par comparaison aux autres moyens de transmission;
- une qualité de transmission excellente.

Ce moyen de transmission convient donc pour la transmission simultanée de plusieurs canaux, par l'intermédiaire d'un multiplexage par répartition dans le temps.

La conception d'une liaison à fibres optiques est obtenue par un bilan d'atténuation et de bande passante permettant de déterminer:

- le type de fibres optiques (fibres multimodes ou monomodes);
- le type de diode d'émission (diode LASER ou DEL);
- le type de récepteur;
- le matériel auxiliaire (répéteur, etc.);
- la bande passante disponible.

On trouvera à la figure 13 un exemple typique de liaison par fibres optiques.

5.1.7 *Systèmes à satellites*

Lorsque le territoire à couvrir est important, il convient d'envisager l'utilisation des possibilités offertes par des systèmes à satellites. Une station terrienne équipée d'une antenne appropriée sera nécessaire au niveau de chaque station terminale et du poste de conduite. Le coût de ces systèmes est malheureusement élevé et implique également la location du service satellite sur une fréquence porteuse, l'utilisateur n'étant donc pas propriétaire de l'installation. Les satellites fonctionnent avec des systèmes à multiplexage temporel, et un grand nombre des propriétés des services de radiocommunications fixes et des liaisons par fibres optiques s'applique donc également à ce type de transmission (comme par exemple le nombre important de canaux de haute qualité avec un bon rapport signal sur bruit).

5.2 *Equipement de multiplexage*

De façon à utiliser le moyen de transmission au maximum de ses possibilités, il faut transmettre simultanément plusieurs voies basse fréquence. Cela peut se faire par des techniques de multiplexage analogique ou numérique (MRT). Le CCITT a mis au point un certain nombre de recommandations concernant ces systèmes.

a) *Multiplexage en fréquence*

Cette méthode implique la transposition d'un certain nombre de voies basse fréquence afin d'occuper des positions discrètes dans un domaine de fréquences couvrant une large bande de fréquences.