

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62063

Première édition
First edition
1999-08

**Appareillage à haute tension –
Utilisation de l'électronique et des technologies
associées dans les équipements auxiliaires
de l'appareillage**

**High-voltage switchgear and controlgear –
The use of electronic and associated technologies
in auxiliary equipment of switchgear
and controlgear**



Numéro de référence
Reference number
IEC/TR 62063:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC

TR 62063

Première édition
First edition
1999-08

**Appareillage à haute tension –
Utilisation de l'électronique et des technologies
associées dans les équipements auxiliaires
de l'appareillage**

**High-voltage switchgear and controlgear –
The use of electronic and associated technologies
in auxiliary equipment of switchgear
and controlgear**

© IEC 1999 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 photo-copie 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



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	6
Articles	
1 Généralités	8
1.1 Domaine d'application et objet.....	8
1.2 Nouveaux concepts.....	8
1.3 Organisation du rapport.....	10
2 Documents de référence	10
3 Définitions.....	12
3.1 Définitions relatives aux composants (constituants de l'appareillage).....	12
3.2 Définitions relatives aux fonctions	14
3.3 Définitions relatives au fonctionnement	18
4 Tendances dans l'utilisation de l'appareillage	20
4.1 Tendances dans la maintenance	20
4.2 Approches nouvelles de la sûreté.....	22
4.2.1 Fiabilité	22
4.2.2 Disponibilité	24
4.2.3 Maintenabilité.....	28
4.2.4 Sécurité	30
4.3 Modernisation des composants de l'appareillage existant	34
4.4 Maintenance basée sur la fiabilité (RCM).....	34
5 Tendances d'évolution de la technologie.....	40
5.1 Généralités	40
5.2 Architecture des systèmes.....	42
5.2.1 Architecture fonctionnelle	42
5.2.2 Evolution de l'architecture des systèmes.....	44
5.2.3 Comparaison des architectures	44
5.2.4 Techniques d'interfaçage.....	50
5.3 Transducteurs et actionneurs	54
5.3.1 Transducteurs	54
5.3.2 Actionneurs	58
5.4 Commande	60
5.5 Monitoring.....	60
5.5.1 Le monitoring aujourd'hui	60
5.5.2 Connecteur de diagnostic	62
5.5.3 Systèmes de monitoring annexes	62
5.5.4 Systèmes intégrés de commande et de monitoring	62
5.6 Interfaces et connexions	64
5.6.1 Généralités	64
5.6.2 Interopérabilité	64
5.6.3 Connexions temporaires.....	68

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 General.....	9
1.1 Scope and object	9
1.2 New concepts	9
1.3 Organisation of the report.....	11
2 Reference documents	11
3 Definitions.....	13
3.1 Definitions related to components (parts of switchgear and controlgear)	13
3.2 Definitions related to functions	15
3.3 Definitions related to operation features	19
4 Trends in the use of switchgear and controlgear	21
4.1 Trends in maintenance.....	21
4.2 New concepts in dependability.....	23
4.2.1 Reliability	23
4.2.2 Availability	25
4.2.3 Maintainability	29
4.2.4 Safety	31
4.3 Retrofitting of existing switchgear components	35
4.4 Reliability centered maintenance	35
5 Trends in technology	41
5.1 General.....	41
5.2 System architecture	43
5.2.1 Functional architecture	43
5.2.2 Evolution of system architecture	45
5.2.3 Architecture comparison.....	45
5.2.4 Interfacing techniques	51
5.3 Transducers and actuators.....	55
5.3.1 Transducers.....	55
5.3.2 Actuators	59
5.4 Control.....	61
5.5 Monitoring.....	61
5.5.1 Monitoring today.....	61
5.5.2 Diagnostic connector	63
5.5.3 Add-on monitoring system	63
5.5.4 Integrated system for control and monitoring	63
5.6 Interface and connection	65
5.6.1 General.....	65
5.6.2 Interoperability	65
5.6.3 Temporary connections	69

Articles	Pages
6 Recommandations pour l'utilisation des nouvelles technologies dans les postes	68
6.1 Installation	68
6.2 Transducteurs et actionneurs	70
6.3 Aspects diélectriques	72
6.4 Sûreté et sécurité	72
6.5 Degré de protection des connecteurs	74
6.6 Maintenance	74
6.6.1 Recommandations à l'usage des constructeurs	74
6.6.2 Disponibilité des rechanges	74
7 Evolution suggérée des normes CEI	76
7.1 Changements induits par l'utilisation des technologies nouvelles	76
7.2 Changements induits par l'introduction des réseaux de terrain normalisés	78
Tableau 1 – Niveau de disponibilité en fonction de la technologie	26
Tableau 2 – Maintenabilité en fonction de la technologie	30
Tableau 3 – Niveau MTBF en fonction de la technologie (valeurs types)	32
Tableau 4 – Exigences et recommandations pour l'installation des transducteurs et actionneurs	72

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 62063:1999

Clause	Page
6 Recommendations for use of new technologies in substations	69
6.1 Installation	69
6.2 Transducers and actuators.....	71
6.3 Dielectric aspects.....	73
6.4 Safety and security.....	73
6.5 Degree of protection for connectors.....	75
6.6 Maintenance	75
6.6.1 Recommendations for the manufacturer	75
6.6.2 Availability of spares.....	75
7 Suggested evolution of IEC standards	77
7.1 Changes induced by introduction of new technologies.....	77
7.2 Changes induced by the introduction of standardized fieldbus.....	79
Table 1 – Availability level according to technology	27
Table 2 – Maintainability according to technology.....	31
Table 3 – MTBF level according to technology (typical values)	33
Table 4 – Requirements and guidelines for installation of transducers and actuators	73

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 62063:1999

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION – UTILISATION DE L'ÉLECTRONIQUE ET DES TECHNOLOGIES ASSOCIÉES DANS LES ÉQUIPEMENTS AUXILIAIRES DE L'APPAREILLAGE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Un rapport technique ne doit pas nécessairement être révisé avant que les données qu'il contient ne soient plus jugées valables ou utiles par le groupe de maintenance.

La CEI 62063, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Décision
17A/521/CD	17A/535/RM

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

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –
THE USE OF ELECTRONIC AND ASSOCIATED TECHNOLOGIES
IN AUXILIARY EQUIPMENT OF SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard should be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The IEC should not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful by the maintenance team.

IEC 62063, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

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

Enquiry draft	Decision
17A/521/CD	17A/535/RM

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION – UTILISATION DE L'ÉLECTRONIQUE ET DES TECHNOLOGIES ASSOCIÉES DANS LES ÉQUIPEMENTS AUXILIAIRES DE L'APPAREILLAGE

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

Le présent rapport technique a pour but de fournir un guide de base pour l'insertion des améliorations au sein des normes relatives à l'appareillage à haute tension. De telles améliorations sont rendues nécessaires pour permettre aux utilisateurs de l'appareillage de bénéficier de toutes les possibilités offertes par les technologies électroniques.

Un grand nombre de dispositifs dits non conventionnels apparaissent ou sont susceptibles d'être installés dans un proche avenir. Il y a un besoin urgent de normaliser les interfaces et en particulier les protocoles de communication qui peuvent être utilisés par ces dispositifs afin d'éviter des situations confuses et d'améliorer l'interopérabilité de tels équipements. La communication est à l'étude au sein de plusieurs groupes de travail du SC 17A et du CE 57. Il convient que le présent rapport soit pris en considération par ces groupes.

Les technologies d'aujourd'hui permettent d'utiliser des dispositifs électroniques pour la totalité ou certaines parties des équipements auxiliaires associés à l'appareillage. Le présent rapport introduit de nouveaux articles applicables à ces technologies. Il définit également les différentes classes de fonctions à implémenter, avec les limites associées, pour:

- apporter à l'utilisateur les garanties de sécurité de fonctionnement, indépendamment de la technologie choisie. Cela exige, par exemple dans le cas des transducteurs, la présence d'articles relatifs à la précision, au temps de réponse, aux possibilités de test, etc.;
- permettre aux constructeurs d'assurer les fonctions demandées à l'aide de leurs techniques propres, sans dépendre de normes non officielles: libre choix dans l'utilisation ou non des fibres optiques, des liens numériques ou conventionnels, des réseaux de communication, etc.

1.2 Nouveaux concepts

L'appareillage peut être considéré comme composé de deux sous-ensembles:

- l'équipement primaire, c'est-à-dire la partie haute tension de l'appareil, assurant l'isolement de la haute tension, le passage du courant et la coupure;
- l'équipement auxiliaire, c'est-à-dire la partie basse tension de l'appareil, dédiée à la commande et à la surveillance d'état des éléments principaux.

Dans la technologie actuelle, les deux parties sont fournies généralement par un même constructeur. Les limites de l'appareillage sont de ce fait facilement identifiées, et sont fixées en général au répartiteur.

L'introduction des technologies électroniques induit des changements significatifs sur plusieurs points:

- l'équipement auxiliaire n'est plus nécessairement solidaire de l'appareil mais peut être déporté en un point quelconque depuis l'armoire de commande locale de l'appareil jusqu'à la salle de commande du poste. Les limites de l'appareillage ne sont plus physiquement fixées aux contours de l'armoire de commande locale;

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR – THE USE OF ELECTRONIC AND ASSOCIATED TECHNOLOGIES IN AUXILIARY EQUIPMENT OF SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR

1 General

1.1 Scope and object

This technical report is intended to provide basic guidance for the introduction of improvements in the IEC standards related to HV switchgear and controlgear. Such improvements are required to allow the users of switchgear to benefit from all the possibilities provided by electronic equipment.

A large number of so-called non-conventional devices are arising or are expected to be installed in the future. There is an urgent need to standardise interfaces and particularly communication protocols which may be used by these devices to avoid confusing situations and to improve the interoperability of such devices. Communication is being considered by different working groups within SC 17A and TC 57. This report should be taken into consideration by these working groups.

Today's technology allows the implementation of all, or part of, switchgear and controlgear associated auxiliary equipment by means of electronic devices. This report introduces new clauses in order to cover these technologies. It also defines the different classes of functions to be ensured, as well as the associated boundaries, which will:

- provide the user with a guarantee of operating security, independently of the chosen technology. This will require, if the case of transducers is taken as an example, the presence of clauses concerning accuracy, response time, testability, etc.;
- allow manufacturers to ensure the required functions by means of their own techniques, without being dependent upon widespread unofficial standards: free choice to use or not to use optical fibres, digital links or traditional links, communication networks, etc.

1.2 New concepts

A switchgear can be considered in terms of its two sub-parts:

- primary equipment, i.e. the high voltage part of the switchgear, dedicated to high voltage insulation, current flow and interruption;
- auxiliary equipment, i.e. the low voltage part of the switchgear, dedicated to the control and monitoring of the main components.

Using present technology, both parts are generally supplied by a single switchgear manufacturer. The boundary of switchgear is then easily identified as being generally the terminal block.

Introducing electronic technologies results in significant changes on several points:

- the location of the auxiliary equipment is not necessarily confined to the related switchgear, but can be distributed at any location, from the local control cubicle of the switchgear to the control room of the substation. The boundary of the switchgear is no longer physically attached to the local control cubicle location;

- par ailleurs, différents constituants de l'équipement auxiliaire peuvent être fournis par des constructeurs différents;
- de plus, les technologies électroniques basées sur des architectures distribuées, les composants à base de microprocesseurs et les communications numériques introduisent une approche nouvelle de la sûreté. Cela entraîne des modifications dans les stratégies de maintenance aussi bien que dans l'utilisation de l'appareillage.

La conséquence en est l'émergence des questions relatives à la responsabilité, en cas de défaut survenant dans le poste. Le présent rapport suggère des améliorations des normes CEI correspondantes en apportant des clarifications fondées sur une identification non ambiguë des frontières entre équipements et sur la responsabilité des constructeurs correspondants.

1.3 Organisation du rapport

Ce rapport est divisé en quatre parties principales.

La première partie (article 4) décrit les tendances dans l'utilisation de l'appareillage tandis que l'article 5 s'attache à décrire les tendances relatives à la technologie et à leurs conséquences sur l'architecture des systèmes. L'article 6 propose des recommandations pour l'emploi des technologies nouvelles dans les postes électriques. Le dernier article (article 7) suggère des modifications à apporter aux normes CEI pour donner des réponses appropriées aux situations nouvelles.

2 Documents de référence

CEI 60050-191:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 60050-351:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 351: Commande et régulation automatiques*

CEI 60050-721:1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 721: Télégraphie, télécopie et communication de données*

CEI 60605-1:1978, *Essai de fiabilité des équipements – Première partie: Prescriptions générales*

CEI 60605-2:1994, *Essai de fiabilité des équipements – Partie 2: Conception des cycles d'essai*

CEI 60605-3 (toutes les parties), *Essai de fiabilité des équipements – Partie 3: Conditions d'essai préférentielles*

CEI 60605-4:1986, *Essai de fiabilité des équipements – Quatrième partie: Méthode de calcul des estimateurs ponctuels et des limites de confiance résultant d'essais de détermination de la fiabilité d'équipements*

CEI 60605-6:1997, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 6: Tests de validité des hypothèses du taux de défaillance constant ou de l'intensité de défaillance constante*

CEI 60694:1996, *Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension*
Amendement 1¹⁾

CEI 60863:1986, *Présentation des résultats de la prévision des caractéristiques de fiabilité, maintenabilité et disponibilité*

¹⁾ A publier.

- moreover, different components of the auxiliary equipment may be supplied by different manufacturers;
- additionally, electronic technologies using distributed architectures, microprocessor-based components and digital communications induce new concepts in dependability. That results in modifications of maintenance policies as well as user operation of the switchgear.

In consequence, the question arises of the responsibility in case of failure occurring within the substation. The present report suggests improvements in relevant IEC standards which clarify this point by an unambiguous identification of the limits between equipment and the associated manufacturer responsibility.

1.3 Organisation of the report

This report consists of four main parts.

The first part (clause 4) describes the trends in user exploitation of the switchgear and clause 5 focuses on trends regarding technology and consequences for system architectures. Clause 6 proposes some recommendations for use of new technologies in substations. The last part (clause 7) suggests appropriate modifications in IEC standards in order to comply with the relevant new situations.

2 Reference documents

IEC 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60050-351:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 351: Automatic control*

IEC 60050-721:1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 721: Telegraphy, facsimile and data communication*

IEC 60605-1:1978, *Equipment reliability testing – Part 1: General requirements*

IEC 60605-2:1994, *Equipment reliability testing – Part 2: Design of test cycles*

IEC 60605-3 (all parts), *Equipment reliability testing – Part 3: Preferred test conditions*

IEC 60605-4:1986, *Equipment reliability testing – Part 4: Procedures for determining point estimates and confidence limits for equipment reliability determination test*

IEC 60605-6:1997, *Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity of the constant failure rate or constant failure intensity assumptions*

IEC 60694:1996, *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards Amendment 1¹⁾*

IEC 60863:1986, *Presentation of reliability, maintainability and availability predictions*

¹⁾ To be published.

CEI 61000-5-1:1996, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 1: Considérations générales – Publication fondamentale en CEM*

CEI 61000-5-2:1997, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage – Considérations générales – Publication fondamentale en CEM*

CEI 61000-5-6: *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 6: Atténuation des influences EM externes (à l'étude)*

CEI 61123:1991, *Essai de fiabilité – Plans d'essai de conformité pour une proportion de succès*

CEI 61140:1997, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs pour les installations et aux matériels*

CEI 61201:1992, *Très basse tension (TBT) – Valeurs limites*

ANSI/IEEE 110:1993, *Recommandations pour l'utilisation des équipements électroniques sensibles pour l'alimentation et la mise à la terre*

UNIPED Norme 13:1995, *Automatisation et commande d'appareils pour les centrales et les postes – Chapitre 7: Conditions de tests*

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions de la CEI 60694 ainsi que les suivantes s'appliquent.

3.1 Définitions relatives aux composants (constituants de l'appareillage)

3.1.1

dispositif analogique

dispositif dont la sortie varie de manière continue en fonction de son entrée, dans la plage définie

3.1.2

dispositif numérique

dispositif dont la sortie est une valeur numérique codée, fonction de l'entrée (la sortie au dispositif peut être de type série ou parallèle)

3.1.3

appareillage intelligent

appareillage possédant des caractéristiques de haut niveau, doté d'équipement électronique, de transmetteurs et d'actionneurs pour assurer non seulement les fonctions de base mais offrant aussi la capacité de remplir des fonctions supplémentaires en particulier dans le domaine du monitoring et des diagnostics

3.1.4

appareillage idéalisé

appareillage non affecté par des défauts internes tels que vieillissement, fuites de gaz ou d'huile, usure électrique ou mécanique et qui réagit à des sollicitations externes. En ce sens, un appareillage idéalisé ne requiert aucun système de monitoring pour assurer un fonctionnement satisfaisant (appareillage sans maintenance)

NOTE Un tel appareillage n'existe évidemment pas mais le concept est défini pour établir une distinction claire entre ce qui relève de la fonction de l'appareillage et ce qui est nécessaire à un comportement satisfaisant dudit appareillage.

IEC 61000-5-1:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 1: General considerations – Basic EMC publication*

IEC 61000-5-2:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling – Basic EMC publication*

IEC 61000-5-6: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 6: Mitigation of external EM influences (under consideration)*

IEC 61123:1991, *Reliability testing – Compliance test plans for success ratio*

IEC 61140:1997, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61201:1992, *Extra-low voltage (ELV) – Limit values*

ANSI/IEEE 110:1993, *IEEE recommended practice for powering and grounding sensitive electronic equipment*

UNIPED Norm 13:1995, *Automation and control apparatus for generating stations and substations – Chapter 7: Conditions during testing*

3 Definitions

For the purposes of this technical report the definitions in IEC 60694 and the following apply.

3.1 Definitions related to components (parts of switchgear and controlgear)

3.1.1

analogue device

device whose output is continuously variable throughout its range, and is dependent on the input to the device

3.1.2

numeric device

device whose output is a digital code dependent on the input to the device (the output of the device may be either serial or parallel)

3.1.3

intelligent switchgear

switchgear and controlgear with enhanced features, equipped with electronic equipment, transducers and actuators performing not only the switchgear basic functions, but also offering additional functions especially in the field of monitoring and diagnostics

3.1.4

idealised switchgear

switchgear and controlgear which is not subjected to any internal failure like ageing effect, gas or oil leakage, or electrical and mechanical wear and reacts only to external solicitations. In that respect, idealised switchgear does not require the use of a monitoring system to ensure correct operation (maintenance-free switchgear and controlgear)

NOTE Such switchgear and controlgear does not exist, obviously, but this concept is defined to make clear the distinction between what is required for functional operation and what is required to ensure a correct behaviour of the switchgear and controlgear.

3.1.5

transmetteur

dispositif capable de recevoir une information sous forme d'une grandeur physique donnée et de la convertir sous une forme similaire ou autre grandeur physique, suivant une loi définie, pour la transmission ou l'utilisation

3.1.6

capteur

élément d'un transmetteur qui convertit le signal d'entrée en une grandeur utilisable pour la mesure

3.1.7

point d'interface

répartiteur accessible à l'utilisateur en vue de sa connexion à un autre équipement

3.1.8

connexion temporaire

connexion qui n'est pas nécessaire au fonctionnement normal de l'appareillage et qui est utilisée à des fins de maintenance ou de validation

3.1.9

actionneur

élément de commande final d'un circuit auxiliaire

NOTE L'élément de commande final est généralement de type mécanique (vanne, amortisseur, vis, etc.) mais peut aussi être d'une autre nature (excitation d'un générateur, par exemple).

3.1.10

transmission parallèle

transmission simultanée des éléments d'un signal ou d'un caractère ou d'un bloc sur des canaux séparés

[VEI 721-11-17, modifiée]

3.1.11

transmission série

transmission des éléments d'un signal ou d'un caractère ou d'un bloc, à des intervalles de temps successifs, contigus ou non

[VEI 721-11-16, modifiée]

3.2 Définitions relatives aux fonctions

3.2.1

fonctions de base de l'appareillage

fonctions nécessaires pour assurer l'utilisation normale de l'appareillage idéalisé en réaction à des événements externes à celui-ci

NOTE Pour fonctionner correctement, il faut qu'un appareil idéalisé (voir la définition) soit piloté en tenant compte de l'état de certains dispositifs ayant une influence sur lui. Par exemple, l'autorisation de manœuvre d'un sectionneur est conditionnée par la position du disjoncteur de mise à la terre associé. Conformément aux normes existantes et suivant les exigences courantes des utilisateurs, il faut qu'un certain nombre de fonctions soient assurées. En ce qui concerne l'équipement auxiliaire, ces fonctions sont réalisées aujourd'hui par des dispositifs mécaniques ou électromécaniques câblés et peuvent être désignées par le terme général de fonctions de base de l'appareillage.

Exemples de fonctions de base: ouverture, fermeture, indication de la position, antipompage, verrouillage, communication, etc.

3.1.5**transducer**

device which accepts information in the form of a physical quantity and converts it to information in the form of the same or another physical quantity, according to a definite law, for transmission or use

3.1.6**sensor**

part of a transducer that converts the input signal into a form suitable for measurement

3.1.7**interfacing point**

terminal available to the user for connection to other equipment

3.1.8**temporary connection**

connection which is not required during the normal operation of the switchgear and controlgear and which is used only for commissioning or maintenance purposes

3.1.9**actuator**

final controlling element of an auxiliary circuit

NOTE The final controlling elements are generally of mechanical type (valves, dampers, vices, etc.) but they can also be of another nature (exciter of a generator, for example).

3.1.10**parallel transmission**

the simultaneous transmission of the signal elements of a character signal or block signal on separate channels

[IEV 721-11-17]

3.1.11**serial transmission**

transmission of the signal elements of a character signal or block signal at successive time intervals, either contiguous or not

[IEV 721-11-16]

3.2 Definitions related to functions**3.2.1****basic switchgear functions**

functions, which are required to perform a correct operation of an idealised switchgear and controlgear as a response to events originated externally to the switchgear and controlgear

NOTE In order to operate correctly, even an idealised switchgear (see definition) should be driven in reference to the status of a set of influencing devices. As an example, the authorisation of the operation of a disconnector is conditioned by the adjacent earthing circuit-breaker position. According to existing standards and generally accepted user requirements, a certain amount of such control functions have to be provided. Concerning the secondary equipment, these functions are realised today with mechanical or hardwired electromechanical control and auxiliary equipment and can be summarised as the basic functions of the switchgear.

Examples of basic functions are: tripping, closing, position indication, anti-pumping, interlocking, communication, etc.

En pratique, l'appareillage est généralement sujet au vieillissement, aux fuites de gaz ou d'huile, à l'usure mécanique ou électrique. Plus généralement, les performances de l'appareillage en matière d'isolement ou de coupure dépendent de certains paramètres d'influences comme la température ambiante, la densité du gaz, l'usure électrique. Pour obtenir un fonctionnement correct, les fonctions de base sont généralement complétées par un ensemble de fonctions annexes qui garantissent le bon comportement de l'appareil alors que les fonctions de base conduisent à une autorisation de manoeuvre. Il est à noter que les fonctions de monitoring ne sont pas des fonctions de base.

Exemples de telles fonctions: comptage de manoeuvres, alarmes de premier niveau (SF₆, perte d'énergie), discordance de phases, durées de fermeture ou d'ouverture, acquisition des courbes de déplacement, blocage fonction de l'énergie accumulée (bloc O-CO), surveillance de la densité du SF₆, etc.

3.2.2

monitoring de l'appareillage

mesure d'une ou de plusieurs grandeurs influençant la capacité de l'appareil ou d'une de ses parties à remplir sa fonction, de manière à détecter si l'une ou plusieurs de ces grandeurs sortent de la plage de fonctionnement

3.2.3

système de monitoring

système en ligne conçu pour assurer des fonctions de monitoring conformément à la définition établie pour celles-ci

3.2.4

maintenance corrective

maintenance effectuée après une détection de panne et destinée à mettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise

[VEI 191-07-08]

3.2.5

maintenance préventive

maintenance effectuée à intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'une entité

[VEI 191-07-07]

3.2.6

maintenance conditionnelle

maintenance préventive basée sur l'application de critères prédéfinis en fonction des résultats fournis par un système de monitoring

3.2.7

prédiction

procédé de calcul utilisé pour prévoir les valeurs d'une grandeur

[VEI 191-16-01, modifiée]

3.2.8

maintenance prédictive

maintenance effectuée à partir de prévisions d'apparition de défauts et de la probabilité de la nécessité d'une intervention

3.2.9

supervision

surveillance

ensemble des opérations manuelles ou automatiques destinées à observer l'état d'une entité

NOTE La surveillance automatique d'une entité peut être effectuée à l'intérieur ou à l'extérieur de celle-ci.

[VEI 191-07-26]

In practice, switchgear is generally subjected to an ageing effect, gas or oil leakage or electrical and mechanical wear. More generally, the insulation and switching performances of a switchgear are dependent upon a set of influence quantities as, for example, ambient temperature, gas density or electrical wear. In order to operate correctly, the basic functions of switchgear are generally completed by a set of non-basic functions, which ensure that the switchgear will operate correctly when the basic function results in an operating authorisation. Note that monitoring functions are not basic functions.

Examples of such functions are: operation counter, early warning alarms (SF₆, energy loss), pole discrepancy, closing and opening times, travel curve acquisition, blocking according to stored energy (O-CO block), SF₆ gas density monitoring, etc.

3.2.2

switchgear and controlgear monitoring

measurement of one or more quantities influencing the ability of switchgear and controlgear or part thereof to fulfil its function, in order to detect that one or more of these influence quantities is no longer within its operating range

3.2.3

monitoring system

on-line system designed to perform monitoring functions in accordance to the definition given for those functions

3.2.4

corrective maintenance

the maintenance carried out after fault recognition and intended to put an item into a state in which it can perform a required function

[IEV 191-07-08]

3.2.5

preventive maintenance

the maintenance carried out at predetermined intervals or according to prescribed criteria and intended to reduce the probability of failure or the degradation of the functioning of an item

[IEV 191-07-07]

3.2.6

condition-based maintenance

preventive maintenance which is based on certain prescribed criteria, as detected by a monitoring system

3.2.7

prediction

the process of computation used to obtain the predicted value(s) of a quantity

[IEV 191-16-01]

3.2.8

predictive maintenance

maintenance that is carried out on the basis of prediction of failure occurrence and required intervention probability

3.2.9

supervision

activity, performed either manually or automatically, intended to observe the state of an item

NOTE Automatic supervision may be performed internally or externally to the item.

[IEV 191-07-26]

3.2.10

maintenance basée sur la fiabilité (RCM)

méthode structurée (RCM) qui définit les besoins en maintenance des équipements d'un système. C'est un processus de prise de décision basé sur l'évaluation de la criticité de la défaillance d'un équipement, sur la probabilité de la défaillance et sur les effets de cette défaillance sur la fiabilité générale du système

3.3 Définitions relatives au fonctionnement

3.3.1

temps de rebond

pour un contact de fermeture d'un circuit, intervalle de temps entre l'instant où le contact atteint pour la première fois sa butée de fermeture et l'instant où la continuité du circuit est établie de manière permanente

3.3.2

sûreté de fonctionnement

terme collectif utilisé pour décrire les performances d'un système vis-à-vis des critères suivants: fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité

[VEI 191-02-03, modifiée]

3.3.3

disponibilité

capacité d'un élément à se trouver dans un état permettant l'exécution de la fonction assignée, dans des conditions définies, à un instant donné sur un intervalle de temps donné, pour autant que les ressources externes requises sont disponibles

[VEI 191-02-05, modifiée]

3.3.4

disponibilité instantanée

probabilité pour un élément de se trouver dans un état permettant l'exécution de la fonction assignée dans des conditions définies à un instant donné, pour autant que les ressources externes requises soient disponibles

[VEI 191-11-01, modifiée]

3.3.5

fiabilité

probabilité pour un élément d'être en état d'exécuter la fonction assignée dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné

[VEI 191-12-01, modifiée]

3.3.6

maintenabilité

probabilité pour qu'une action de maintenance donnée, appliquée à un élément dans des conditions définies de maintenance, soit exécutée dans les conditions définies en utilisant les procédures et les ressources définies

[VEI 191-13-01, modifiée]

3.2.10

reliability centered maintenance (RCM)

RCM is a structured methodology that defines the maintenance requirements for equipment in a system. It is a decision-making process based upon the evaluation of the criticality of an equipment failure, of the probability of that failure and the effect of that failure on the reliability of the overall system

3.3 Definitions related to operation features

3.3.1

bounce time

for a contact which is closing a circuit, the time interval between the instant when the contact first touches, and the instant when the permanent circuit continuity is achieved

3.3.2

dependability

collective term used to describe the performance of a system with regards to each of the following factors: reliability, maintainability, availability and safety

[IEV 191-02-03, modified]

3.3.3

availability

the ability of an item to be in a state to perform a required function under given conditions at a given instant of time over a given time interval, assuming that the required external resources are provided

[IEV 191-02-05]

3.3.4

instantaneous availability

the probability that an item is in a state to perform a required function under given conditions at a given instant of time, assuming that the required external resources are provided

[IEV 191-11-01].

3.3.5

reliability

the probability that an item can perform a required function under given conditions for a given time interval

[IEV 191-12-01]

3.3.6

maintainability

probability that a given active maintenance action, for an item under given conditions of maintenance, is performed under stated conditions and using stated procedures and resources

[IEV 191-13-01, modified]

3.3.7

sécurité

type de protection dans laquelle des dispositions supplémentaires sont prises de manière à augmenter la sécurité vis-à-vis des risques de blessure des utilisateurs, de dommage à l'équipement, de réduction des performances, etc.

[VEI 426-08-01, modifiée]

4 Tendances dans l'utilisation de l'appareillage

4.1 Tendances dans la maintenance

Beaucoup de fournisseurs d'électricité sont aujourd'hui sous la pression de la dérèglementation des marchés de l'électricité.

Les clients exigent des fournisseurs d'électricité:

- une augmentation constante de la qualité et de la continuité du service;
- la réduction des temps de reprise de service;
- la réduction du coût de l'électricité.

Cependant, dans le même temps, la charge des travaux de maintenance s'accroît du fait de l'augmentation du nombre d'appareils et du vieillissement de ceux-ci.

Les contraintes de coût (en particulier le manque de crédits), la difficulté d'obtenir les pièces de rechange et la diminution du personnel technique expérimenté, en particulier celui ayant une connaissance approfondie de l'appareillage, sont des facteurs supplémentaires concourant à la situation actuelle.

De ce fait, tous les fournisseurs d'électricité se doivent d'améliorer leur efficacité. Une manière d'atteindre ce but est de réduire les coûts de maintenance, qui représentent une part significative du coût global, en utilisant des méthodes efficaces comme la maintenance préventive et/ou la RCM. Ils auront aussi à rechercher des moyens de guidage additionnels par une meilleure définition des tests normalisés, des méthodes bien définies pour l'évaluation des résultats de tests, le monitoring en ligne des équipements critiques et des systèmes de bases de données.

L'industrie tend à utiliser une maintenance basée sur un rapport risque/bénéfice optimal. Pour atteindre ce but, il convient que les fournisseurs d'électricité adoptent des méthodes plus efficaces et plus compétitives en combinant judicieusement trois programmes de maintenance connus: la maintenance périodique, la RCM et la maintenance conditionnelle.

Le programme de maintenance basée sur le temps est la stratégie la plus communément utilisée aujourd'hui bien que la tendance actuelle soit de s'en éloigner. Les périodes de maintenance programmée sont généralement basées sur les types d'équipement, le temps calendaire écoulé (pas très bien documenté ni expliqué) et, parfois, l'historique des équipements. Le défaut de cette approche est que la grande majorité des équipements ne montrent aucune anomalie et que, de ce fait, les actions, tout en apportant la sécurité de savoir que les conditions de satisfaction vis-à-vis de l'équipement sont remplies, sont consommatrices de temps et d'argent; en outre, cette approche ne donne aucune garantie sur l'absence de détérioration ou de défaillance de l'appareil avant la prochaine action de maintenance. Le risque attaché à cette méthode est heureusement minimal puisque tout l'équipement est maintenu, quel que soit l'historique ou les conditions, mais le coût n'est pas optimisé. Ces désavantages peuvent être grandement surmontés en introduisant des systèmes de surveillance des conditions d'état.

3.3.7

safety

type of protection in which additional measures are applied so as to give increased security against the possibility of harm to the operator, equipment, system performance, etc.

[IEV 426-08-01, modified].

4 Trends in the use of switchgear and controlgear

4.1 Trends in maintenance

Many electricity suppliers are now under pressure due to the deregulation of electricity markets.

Customers are demanding the electricity suppliers:

- to deliver an ever increasing quality and continuity of service;
- to reduce supply restoration times;
- and to reduce electricity cost.

However, at the same time, the maintenance workload is increasing due to the increased number of apparatus as well as the increased age of existing equipment.

General cost constraints (particularly lack of funds), difficulties in obtaining spare parts and reduction of numbers of experienced personal, especially those with expert knowledge on the equipment, are additional contributing factors.

Hence, all electricity suppliers need to become more efficient. One way to achieve this goal is to reduce their maintenance costs, which represent a significant part of the overall costs, by using effective techniques such as preventive maintenance and/or RCM. They will also have to seek additional guidance in the form of a better definition of standard tests, well-defined methods for evaluating test results, on-line monitoring of critical equipment, and database systems.

Industry tends to use maintenance based on an optimum risk/benefit ratio. To attain this goal, utilities should use a more effective and efficient method by judiciously combining three existing maintenance programmes: time-based maintenance, reliability-centered maintenance and condition assessment.

The time-based maintenance programme is the most common strategy used today, although the latest trend is to move away from it. Scheduled maintenance intervals are usually based on equipment type, elapsed calendar time (not so well documented or explained) and, sometimes, the equipment history. The disadvantage of this approach is that the large majority of equipment shows no abnormalities and thus the effort, while securing in the sense that the equipment's satisfactory condition is confirmed, is time-consuming and costly; in addition, the approach provides no guarantee that the equipment will not deteriorate and fail before the next maintenance effort. The risk associated with this method is fairly minimal since all equipment is maintained, regardless of its condition or history, but the cost is not optimised. These disadvantages can be overcome to a high degree by introducing condition-monitoring systems.

La maintenance basée sur la fiabilité a pour but de conserver ou d'améliorer la fiabilité du système tout en optimisant les procédures de maintenance de l'équipement vis-à-vis de la réduction des coûts. Le résultat d'une analyse RCM conduit à proposer des tâches de maintenance (périodiques, conditionnelles ou arbitraires) à exécuter sur l'appareillage ou sur ses composants.

Le programme de maintenance conditionnelle est basé sur l'utilisation de transmetteurs appropriés et étalonnés, la collecte des informations de ces transmetteurs et l'analyse des tendances de ces données. La courbe d'évolution des données de tendance est une indication de la dérive de l'appareillage; en comparant ces courbes avec celles fournies par le constructeur ou par des modélisations logicielles (non encore réalisées et mises en oeuvre), il conviendra que les systèmes de monitoring soient conçus pour suivre en permanence les paramètres fonctionnels importants, signaler les situations anormales et prévoir la détérioration des composants avant qu'une défaillance ne survienne. La surveillance évoluée assure la flexibilité des réparations programmées qui peuvent être effectuées aux moments les plus propices, rendant possible le passage d'une maintenance préventive effectuée à des intervalles de temps fixes à une maintenance prédictive basée sur la situation réelle de l'équipement. En outre, de tels systèmes de diagnostics permettent de déceler très tôt la formation de défauts et de détecter et signaler les situations potentielles de défaillance.

Il est prévisible que les équipements de transport et de distribution d'énergie seront dans l'avenir complétés par des systèmes sophistiqués de monitoring autorisant la maintenance conditionnelle et la prévention des défaillances. De tels systèmes sont un constituant essentiel pour les postes de l'avenir.

4.2 Approches nouvelles de la sûreté

Sûreté est un terme générique utilisé pour décrire les performances d'un système vis-à-vis des facteurs suivants:

- fiabilité;
- disponibilité;
- maintenabilité;
- sécurité.

Les technologies et les architectures nouvelles conduisent à des combinaisons nouvelles des composants et induisent une nouvelle approche de la sûreté pour satisfaire à des exigences semblables ou supérieures mais avec des règles différentes.

L'objectif général de l'introduction de commandes électroniques et de systèmes de monitoring dans l'appareillage est de conserver ou d'améliorer le niveau de sûreté de celui-ci.

4.2.1 Fiabilité

4.2.1.1 Tendances dans la fiabilité des composants électroniques

La fiabilité de l'équipement électronique est en augmentation constante du fait, principalement, des facteurs suivants:

- une meilleure compréhension des phénomènes physiques et chimiques «internes» qui provoquent la défaillance d'un composant;
- un meilleur savoir-faire dans la conception et la production des composants électroniques;
- une meilleure compréhension des causes de défaillance liées à l'environnement, en particulier dans le domaine de la compatibilité électromagnétique (CEM).

Reliability centered maintenance aims to maintain or increase the reliability of the system while optimising the maintenance procedures on equipment in regards of cost reduction. The result of a RCM analysis will propose maintenance tasks (time-based, condition-based or discard tasks) to be performed on equipment and on equipment components.

The condition assessment program is based on the use of adequate and calibrated transducers, the collection of transducer data and the trending of this data. The slope of the trending data is an indication of equipment drifting; by comparing these curves with those obtained from the manufacturer or from software models (still waiting to be developed and implemented), monitoring systems should be designed to continuously track the functional parameters of interest, flag abnormal conditions and predict deterioration of components before a malfunction occurs. Advanced warning allows flexibility in scheduling repairs at the most convenient times, making it possible to shift from preventive maintenance carried out at fixed time intervals to predictive maintenance based on actual equipment conditions. Furthermore, such diagnostic systems provide the capability of recognising the early development of incipient failures, and diagnosing and flagging potential abnormal conditions.

It is anticipated that the power equipment in the future will come complete with sophisticated monitoring systems enabling condition-driven maintenance and failure prevention. Such systems are an essential feature for stations of the future.

4.2 New concepts in dependability

Dependability is the generic term used to describe the performance of a system with regards to each of the following factors:

- reliability;
- availability;
- maintainability;
- safety.

New technologies and new architectures result in new arrangements of components and induce a new approach of dependability to meet similar or higher performance requirements but with different rules.

The general objective of the introduction of electronic control and monitoring systems into switchgear is to keep or improve the dependability level of the switchgear.

4.2.1 Reliability

4.2.1.1 Trend of the electronic components reliability

The reliability of electronic equipment is continuously increasing due mainly to the following factors:

- a better understanding of the "internal" physical and chemical phenomena which provoke component failure;
- a better know-how in the design and manufacturing process of electronic components;
- a better understanding of the environmental causes of failure, especially in the field of electromagnetic compatibility (EMC).

La conséquence en est un comportement de plus en plus déterministe de l'électronique. Le taux de base de défaut des composants, qui contribue de manière aléatoire et non définie aux défaillances, diminue continuellement. Pour un composant simple, un temps moyen entre deux pannes (MTBF) supérieur au million d'heures est aujourd'hui courant même pour des circuits intégrés complexes. Cela permet de construire des systèmes extrêmement complexes, tels que des calculateurs, avec un niveau acceptable de fiabilité.

4.2.1.2 Fiabilité des composants traditionnels

Les composants traditionnels utilisés dans l'équipement basse tension des postes électriques sont essentiellement des interrupteurs électriques et des relais électromécaniques. La fiabilité de tels composants est extrêmement élevée. Mais l'utilisation de telles technologies est limitée à des systèmes simples comme les moniteurs de densité de SF₆ ou les coffrets de commande des disjoncteurs. La réalisation de fonctions complexes telles que des calculateurs de tranche est évidemment irréaliste en raison du grand nombre de composants élémentaires qu'ils nécessitent: la fiabilité globale de tels systèmes serait très faible.

On peut résumer les effets d'une telle évolution technologique sur la sûreté en soulignant que la probabilité d'un mauvais fonctionnement d'un appareillage est faible lorsqu'on utilise une technologie conventionnelle mais très faible si on emploie la technologie électronique.

Cependant, le champ d'application de ces technologies, si l'on considère la complexité des systèmes, apparaît clairement délimité:

- pour des systèmes simples la technologie conventionnelle est plus fiable;
- pour des systèmes complexes, l'électronique est plus fiable.

L'équipement auxiliaire basse tension associé à l'appareillage appartient à la première catégorie. De ce fait, le remplacement de la technologie conventionnelle par des dispositifs électroniques implique un taux supérieur d'interventions de maintenance. Mais ce handicap peut être complètement compensé par le bénéfice qu'offrent les capacités d'autodiagnostic de l'électronique.

Les normes CEI suivantes peuvent être utilisées comme guides en ce qui concerne la fiabilité des systèmes: CEI 60605-1, CEI 60605-2, CEI 60605-3, CEI 60605-4, CEI 60605-6 et CEI 61123.

4.2.2 Disponibilité

4.2.2.1 Mesure de la disponibilité

Conformément aux définitions, la disponibilité est mesurée, pour une période de temps définie, par le rapport:

$$A = \text{durée de disponibilité} / \text{durée totale de la période}$$

Habituellement, la durée de disponibilité est mesurée par deux valeurs:

MTBF = temps moyen entre pannes;

MTTR = temps moyen pour réparer (c'est-à-dire pour retrouver un fonctionnement normal après la panne).

La formule couramment utilisée devient donc:

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

In consequence, the behaviour of electronics is more and more deterministic. The basic failure rate of components, which represents the unknown and random contributions of the failures, decreases continuously. For a single component, mean time between failure (MTBF) greater than one million hours is now common, even for sophisticated integrated circuits. This results in the possibility of building extremely complex systems, like computers, with an acceptable level of reliability.

4.2.1.2 Reliability of conventional components

The conventional components involved in the field of low-voltage equipment for substations are basically electrical switches and electromechanical relays. The reliability of such components is extremely high. But the application of such technology is limited to simple systems, such as SF₆ density monitors, or the control cubicle of circuit-breakers. The implementation of complex functions like bay computers is obviously unrealistic, due to the large number of elementary components required: the overall reliability of such systems would be very poor.

To summarise the effects on reliability due to technology evolution, it may be assessed that the probability of switchgear false operation is low when using conventional technologies but very low when using electronics.

However, the field of application of these technologies, when system complexity is considered, appears clearly delimited:

- for simple systems, conventional technology is more reliable;
- for complex systems, electronic technology is more reliable.

Low-voltage auxiliary equipment dedicated to switchgear belongs to the first category. Therefore, the replacement of conventional technology by electronic devices implies a more important rate of maintenance intervention. But this drawback may be completely compensated by the benefits of the self-diagnosis capability of electronic equipment.

The following IEC standards can be used as guidance on the matter of system reliability: IEC 60605-1, IEC 60605-2, IEC 60605-3, IEC 60605-4, IEC 60605-6 and IEC 61123.

4.2.2 Availability

4.2.2.1 Measurement of the availability

According to the definition, availability is measured, for a defined period of time, by the following ratio:

$$A = \text{time of availability} / \text{total period time}$$

Usually, time of availability is measured by the following two values:

MTBF = mean time between failure;

MTTR = mean time to repair (i.e. to recover normal operation after failure).

Thus, the commonly used formula is:

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

Toutefois, cette méthode ne prend pas en compte les caractères spécifiques et en particulier le fait que l'appareillage appartient à la catégorie des équipements qui ne fonctionnent pas en continu mais de temps en temps (dispositifs «dormants»). Un disjoncteur utilisé comme protection, par exemple, peut rester plusieurs mois sans se fermer ni s'ouvrir. De ce fait, pendant une période de temps aussi longue, un défaut peut se produire sans être décelé avant la prochaine demande de manoeuvre ou la prochaine opération de maintenance.

Pour faire face à de telles situations et pour éliminer autant que possible les incertitudes sur la disponibilité instantanée de l'appareillage, deux méthodes peuvent être utilisées:

- manoeuvrer périodiquement l'appareillage à des intervalles de temps définis (actions programmées) afin de vérifier la disponibilité instantanée de l'équipement. Cette méthode n'améliore évidemment pas la disponibilité intrinsèque mais limite la durée de la période de «disponibilité incertaine»;
- installer des systèmes de supervision dotés de moyens de communication à distance (auto-diagnostics) de manière à détecter, sans manoeuvrer l'appareil, la plupart des défauts dans un délai relativement court. L'avantage d'une telle méthode est d'éviter les mises hors service de l'équipement.

4.2.2.2 Eléments de quantification

Si l'on considère les valeurs quantitatives liées à la disponibilité et si on les compare aux valeurs statistiques mesurées respectivement sur des équipements à technologie conventionnelle et électronique, on obtient le tableau 1 suivant:

Tableau 1 – Niveau de disponibilité en fonction de la technologie

		Technologie conventionnelle	Technologie électronique
Disponibilité	Probabilité de mauvais fonctionnement (par exemple: la commande d'ouverture n'est pas suivie d'effet):	Faible	Très faible
	– causé par des circuits auxiliaires	10^{-4} / an	10^{-5} / an
	– causé par l'ensemble	5×10^{-4} / an	10^{-5} / an
	MTBF (en années)	500	50
	MTTR	Elevé	Faible
	Part liée à l'organisation (dépend de la technologie)	De 1 à 15 jours suivant le poste	De 1 à 15 jours suivant le poste
	Part liée à l'intervention (diagnostic, dépannage, inspection)	2 jours	0,5 jours
Disponibilité (globale)		Elevée (>0,999)	Elevée (>0,999)
NOTE Source des valeurs: ALSTOM			

Le tableau ci-dessus montre clairement que la disponibilité globale de l'appareillage n'est pas réellement améliorée par l'utilisation de l'autosurveillance mais que la probabilité d'une défaillance majeure (commande non exécutée) est fortement réduite par l'utilisation de systèmes d'autosurveillance. Cela est illustré par le diagramme suivant:

However, this method does not take into account some specific features and particularly the fact that switchgear and controlgear belong to that category of devices which do not operate in a continuous way but from time to time ("sleeping devices"). When applied to protection, for instance, a circuit-breaker can remain several months without tripping or closing. As a result, during that long period of time, a failure may occur which is not detected before the next request for operation or the next maintenance action.

To correct such situations and to eliminate as far as possible doubts about the instantaneous availability of the switchgear and controlgear, two methods may be applied:

- a) to operate periodically the switchgear and controlgear at defined intervals of time (programmed actions) in order to check the instantaneous availability of the equipment. Obviously, that method does not improve the intrinsic availability but limits the duration of "uncertain availability" periods;
- b) to implement supervisory systems with remote communication (self diagnostics) in order to detect, without operation of the device, most failures within a relatively short delay. The advantage of this method is to avoid outages of the equipment.

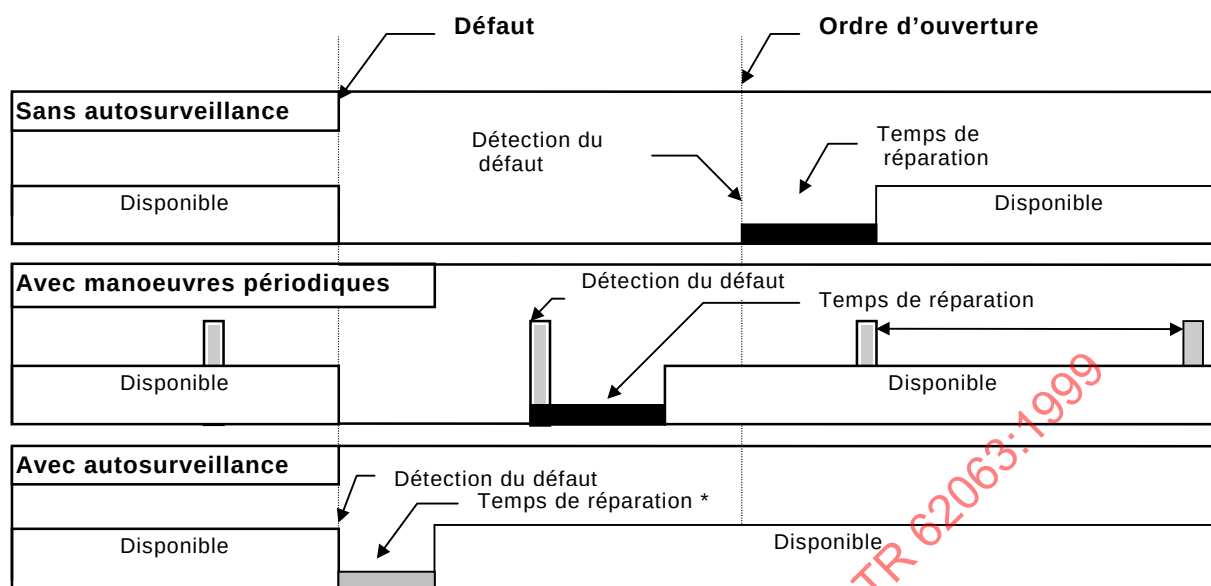
4.2.2.2 Figures

When regarding figures related to availability and comparing statistical values measured respectively with conventional technology and electronics, the following table 1 is obtained:

Table 1 – Availability level according to technology

		Conventional technology	Electronic technology
Availability	Probability of false switchgear operation (example: does not open on command):	Low	Very low
	– due to auxiliary circuits	10^{-4} / year	10^{-5} / year
	– due to overall reasons	5×10^{-4} /year	10^{-5} / year
	MTBF (year)	500	50
	MTTR	High	Low
	Part related to organisation (technology dependant)	From 1 to 15 days depending on the substation	From 1 to 15 days depending on the substation
	Part related to intervention (diagnostic, repair, inspection)	2 days	0,5 days
Availability (global)		High (>0,999)	High (>0,999)
NOTE Source of figures: ALSTOM			

The above table shows clearly that the overall availability of the switchgear and controlgear is not really improved by the use of self-supervision but shows that the probability of a major failure "does not operate on command" is dramatically reduced when using self-supervision systems. This is illustrated by the following diagram:



IEC 998/99

* Le temps de réparation est plus court parce que l'autosurveillance facilite le diagnostic et réduit le temps d'identification de la cause du défaut.

Figure 1 – Détection des défauts

En conséquence, il apparaît que l'amélioration la plus grande est obtenue en utilisant les fonctions d'autosurveillance qui augmentent la disponibilité instantanée. Comme il est évident que l'électronique présente une meilleure capacité et une plus grande flexibilité pour la mise en œuvre des fonctions d'autosurveillance avec un accès à distance, cela représente un avantage réel de cette technologie vis-à-vis des technologies conventionnelles.

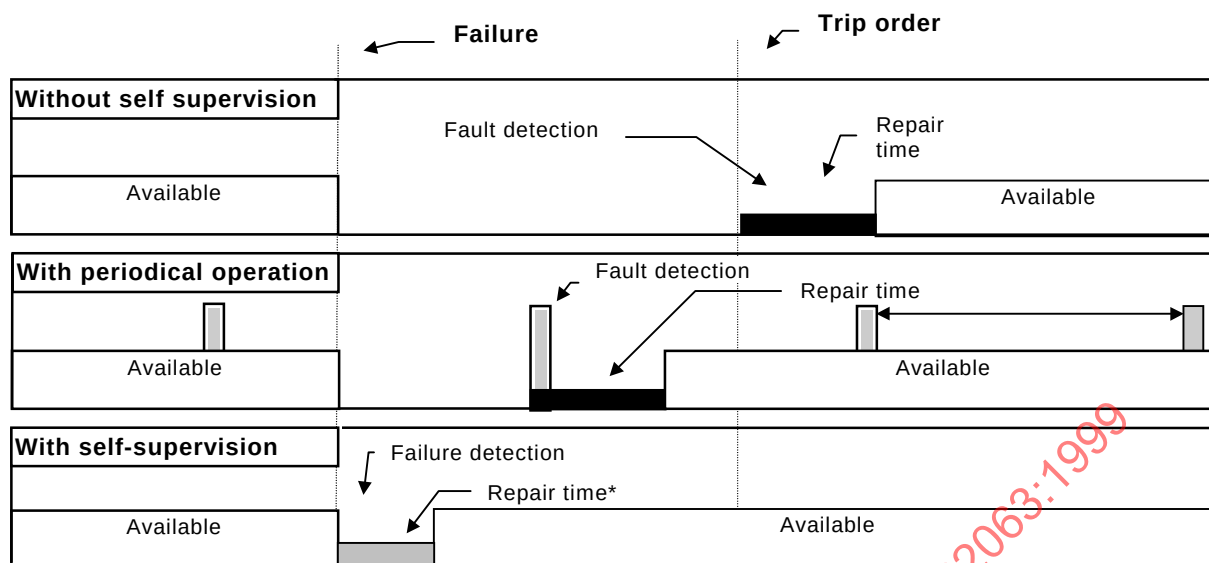
On peut déduire de ces constatations que la disponibilité est une conséquence directe de la fiabilité et de la maintenabilité (voir ci-dessous). La CEI 60863 peut servir de guide pour la disponibilité.

Il convient que les systèmes de contrôle et de monitoring soient conçus pour que le temps moyen entre pannes (MTBF) du système complet fonctionnant dans des conditions normales soit d'au moins 10 ans. Un défaut est défini comme la mise en indisponibilité du système suite à la défaillance d'un composant.

4.2.3 Maintenabilité

Pour favoriser l'obtention d'un niveau satisfaisant de maintenabilité, des moyens d'autosurveillance sont intégrés au système, dès sa conception. Les fonctions d'autosurveillance s'intègrent facilement et à faible coût dans les équipements électroniques surtout si l'on met en regard ce que nécessiterait l'obtention d'une capacité équivalente avec des équipements conventionnels.

L'autosurveillance présente la caractéristique de faciliter l'accès à des informations détaillées sur l'emplacement et la nature du défaut. Le temps global pendant lequel l'équipement est hors service peut ainsi être réduit. Le temps moyen de réparation qui inclut le temps total entre la détection du défaut et la reprise de service peut être considérablement réduit comparativement à celui d'un équipement conventionnel dans des situations équivalentes.



IEC 998/99

* The repair time is shorter because self-supervision facilitates the diagnostic and reduces the time for failure source identification.

Figure 1 – Detection of failure

As a consequence, it appears that the major improvement is obtained by using self-supervision functions that increase the instantaneous availability. As it is obvious that electronics offer better capability and flexibility to provide such self-supervision functions with remote access, this represents a real advantage of electronic versus conventional technology.

It can be inferred from these statements that availability is a direct consequence of reliability and maintainability (see below). IEC 60863 can be used as a guide to availability.

The control and monitoring system should be designed in such a way that, for a complete system operating under average conditions, its mean time between failure (MTBF) is at least 10 years. A failure is defined as unavailability of the system due to a component failure.

4.2.3 Maintainability

To assist in providing a satisfactory level of maintainability, self-diagnostic capabilities are incorporated into the system design. Self-diagnostic functions are easy and inexpensive to incorporate into electronic equipment, especially when one considers the implications of providing conventional equipment with an equivalent capability.

Self-diagnostic features help to attain detailed information about location and kind of failure. The overall time during which the equipment is down can be reduced. The mean time to repair, which includes the total time between failure detection and retrieval to service can be considerably reduced in comparison with conventional equipment in equivalent situations.

Les capacités élevées de diagnostic et de monitoring permettent un suivi continu de tous les paramètres d'intérêt et ainsi d'ouvrir la voie au remplacement de la maintenance préventive par des méthodes de maintenance prédictive, source de réductions supplémentaires de coût.

En outre, la capacité de communication est quasiment une caractéristique naturelle de l'équipement électronique. Ce qui signifie qu'en cas de défaut, l'équipement électronique peut informer un autre équipement qui lui est connecté et, à distance, l'utilisateur.

La mise en œuvre de telles fonctions avec des équipements conventionnels exigerait des adaptations spécifiques significatives.

La connaissance en temps réel d'un défaut a plusieurs conséquences. Le composant de l'appareillage associé à l'équipement défaillant peut être verrouillé ou même déconnecté du réseau par le biais des composants adjacents.

Si le réseau primaire est interconnecté, l'indisponibilité d'un composant de l'appareillage peut être acceptée.

Le tableau 2 résume certains aspects liés à l'obtention d'un niveau satisfaisant de maintenabilité.

Tableau 2 – Maintenabilité en fonction de la technologie

	Technologie conventionnelle	Technologie électronique
Fréquence des réparations	Faible	Moyenne
Coût des opérations de maintenance	Moyen	Faible
Complexité de mise en oeuvre des capacités d'auto-surveillance	Forte	Faible
NOTE Des valeurs quantitatives peuvent être indiquées comme suit (source: rapport CEA (Association Canadienne de l'Electricité), janvier 1997):		
Fréquence des actions de réparation (valeur statistique observée sur des équipements installés)	$2 \times 10^{-3} / \text{an}$	$20 \times 10^{-3} / \text{an}$

4.2.4 Sécurité

On entend par sécurité d'un appareil la capacité de ne pas provoquer d'événement dangereux défini comme tel pour une application donnée. La sécurité est quantifiée par la probabilité d'occurrence de tels événements. Dans le domaine des postes électriques, ces événements peuvent être, par exemple, le déclenchement ou la fermeture intempestifs d'un disjoncteur.

Dans la plupart des cas, un appareil vraiment fiable possède un niveau élevé de sécurité. C'est le cas, en particulier, d'appareils simples basés sur une technologie conventionnelle.

En général, un défaut peut affecter des composants suivant plusieurs modes, par exemple, un transistor peut se bloquer en position ouverte ou fermée, un circuit peut être coupé ou en court-circuit, etc. et l'un de ces modes présente une probabilité d'occurrence plus élevée que les autres. Pour atteindre un niveau de sécurité défini, il convient de prendre en compte cette probabilité lors de la conception. Une telle méthode est souvent peu onéreuse et peut s'appliquer aussi bien à des technologies conventionnelles qu'à l'électronique. Toutefois, cette méthode de base n'est rentable que pour des appareils de complexité moyenne.

Sophisticated monitoring and diagnostic features allow continuous tracking of all functional parameters of interest, thus enabling the replacement of preventive maintenance by predictive maintenance methods, leading to further reduction of costs.

Moreover, the communication capability is quite a natural feature of electronic equipment. This means that electronic equipment, in case of failure, can inform other equipment connected thereto, and, remotely, the user.

To implement such functions with conventional equipment would require specific and significant adaptations.

The real time knowledge of a failure has several consequences. The switchgear component associated with the failed equipment can be locked, or even disconnected from the network by the means of adjacent switching components.

If the primary network is interconnected, the unavailability of the switchgear component can be accepted.

Table 2 summarises some of the aspects related to providing a satisfactory level of maintainability.

Table 2 – Maintainability according to technology

	Conventional technology	Electronic technology
Rate of repair operations	Low	Medium
Cost of maintenance operations	Medium	Low
Complexity of implementing self-diagnostic capabilities	High	Low
NOTE Typical figures may be as follows (source: CEA (Canadian Electrical Association) report, January 1997):		
Rate of repair operations (statistical values observed on installed equipment)	2×10^{-3} /year	20×10^{-3} /year

4.2.4 Safety

Safety of a device is understood as its ability not to create dangerous events that are defined for a given application. Safety is quantified by the probability of the occurrence of such events. In the field of switchyards, these events may be for example the spurious trip or spurious closing of a circuit-breaker.

In most cases, a very reliable device has a satisfactory safety level. This is the case, particularly, for simple devices based on traditional technology.

Generally, breakdown may affect components with several failure modes, e.g. a transistor may fail open or closed, a trip circuit be cut or short-circuited, and one of these modes has a much higher probability of occurrence. In order to achieve a defined safety level, an appropriate design should take into account that probability. Such a method is often inexpensive and applicable to traditional as well as to electronic technology. However, this basic method is effective only for medium complexity devices.

Lorsque la complexité des appareils augmente, il est nécessaire d'ajouter des fonctions pour tester, comparer et décider de ce qui doit être fait pour atteindre le niveau de sécurité approprié. Comme la fiabilité de ces fonctions additionnelles n'est pas parfaite, la disponibilité tend à diminuer. Pour concilier sécurité et disponibilité qui sont antinomiques, il est nécessaire de mettre en œuvre des mécanismes de redondance.

Il convient que toutes ces fonctions additionnelles et ces mécanismes fonctionnent en temps réel et seule l'électronique et particulièrement la technologie numérique, peut assurer simultanément sécurité et disponibilité.

Il est recommandé que ces systèmes soient conçus de telle manière que la sécurité globale de l'équipement primaire d'énergie et les performances requises pour l'équipement secondaire soient maintenues.

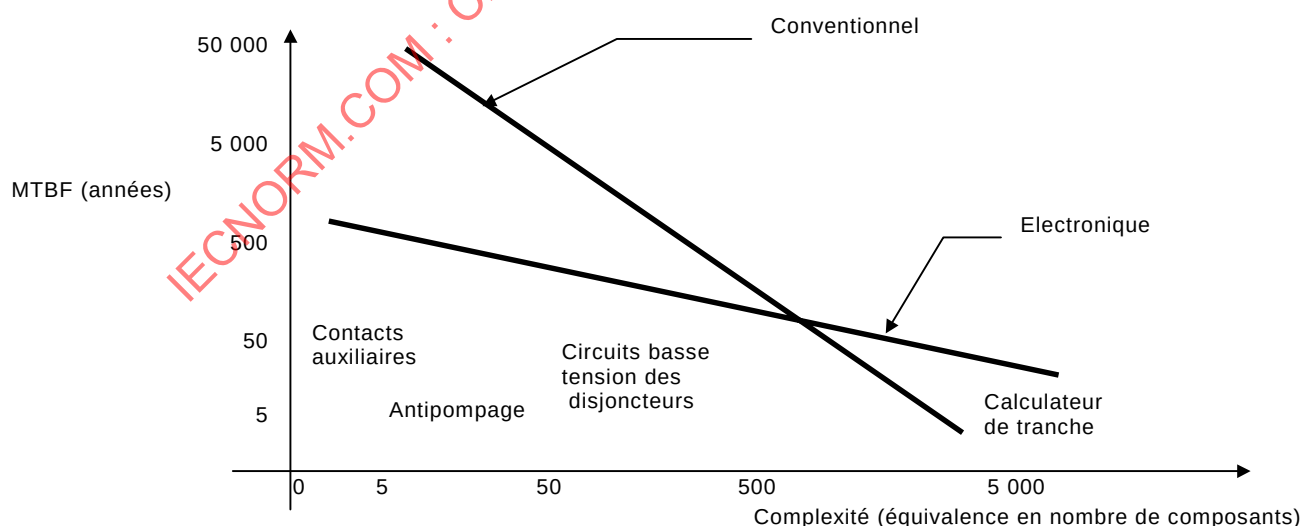
Il y a lieu que des défaillances simples de composants ne provoquent pas de manœuvres non voulues.

Cela peut se résumer comme suit:

Tableau 3 – Niveau MTBF en fonction de la technologie (valeurs types)

Complexité	MTBF en technologie conventionnelle	MTBF en technologie électronique
Faible (exemple: contact auxiliaire)	MTBF > 5 000 ans	MTBF > 500 ans
Moyenne (exemple: circuit antipompage)	750 ans	200 ans
Elevée (exemple: contrôleur de travée)	1 an	20 ans

Ce tableau peut aussi être représenté par le diagramme suivant:



IEC 999/99

Figure 2 – MTBF en fonction de la complexité des équipements

When the device becomes more complex, it is compulsory to add some functions for testing, comparing and deciding what has to be done in order to obtain the proper safety level. As the reliability of these additional functions is not perfect, availability tends to decrease. To reconcile safety and availability, which are antinomies, it is necessary to implement redundant mechanisms.

All these additional functions and mechanisms should operate in real time and only electronic and especially digital technology can ensure at the same time safety and availability.

Those systems should be designed such that the overall power primary equipment fault security and the secondary equipment fault performance requirements are maintained.

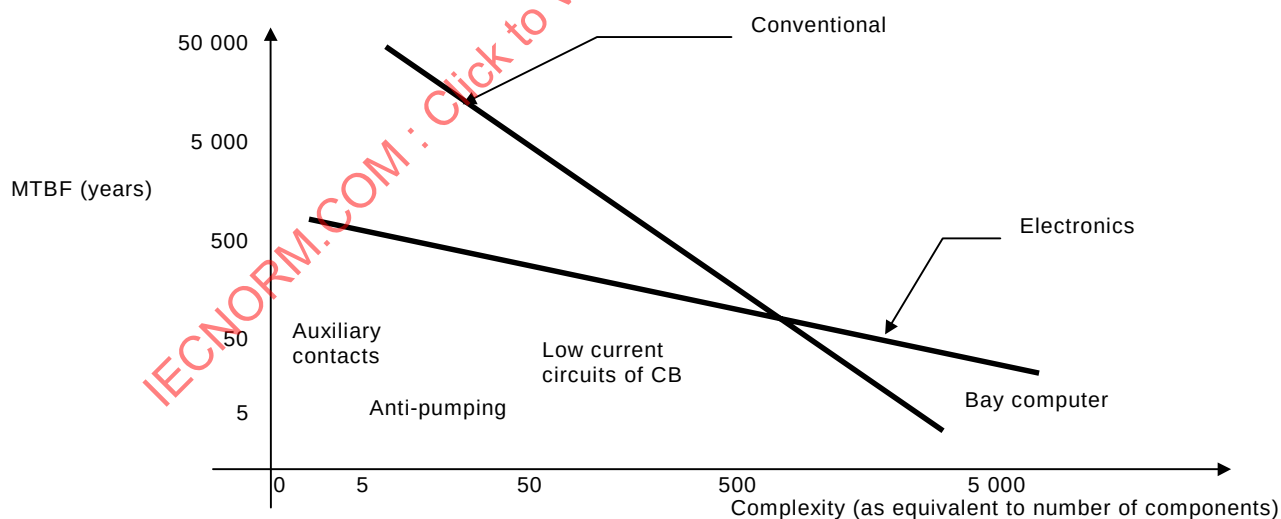
Single component failures should not create an unwanted operation.

This may be summarised as follows:

Table 3 – MTBF level according to technology (typical values)

Complexity	MTBF in Conventional technology	MTBF in Electronic technology
Low (example: auxiliary contact)	MTBF > 5 000 years	MTBF > 500 years
Medium (example: anti-pumping circuit)	750 years	200 years
High (example: bay control device)	1 year	20 years

This table may also be represented by the following diagram:



IEC 999/99

Figure 2 – MTBF according to complexity

4.3 Modernisation des composants de l'appareillage existant

Une tendance forte chez les fournisseurs d'électricité est, pour réduire le coût global, de prolonger la vie de leurs équipements en leur ajoutant des unités de monitoring ou en remplaçant certaines parties de ceux-ci, parfois en faisant appel à des produits de constructeurs différents.

Cependant s'il est judicieux pour les réseaux de distribution de remplacer certains équipements auxiliaires par des produits de technologie nouvelle c'est-à-dire électronique, il n'en va pas de même pour les réseaux de niveaux de tension supérieurs. Les raisons en sont les suivantes:

Des différences existent entre les équipements de transport et de distribution:

- la modernisation est plus facile pour les postes de distribution que pour ceux du transport à cause du coût moindre des équipements de distribution et de l'accès plus facile à ces équipements (influence moindre des arrêts);
- le niveau d'intégration est plus élevé pour les postes de distribution et plus facilement accepté (fonctions de protection et de commande dans le même appareil, par exemple);
- l'utilisation des nouvelles technologies est plus facilement acceptée dans la distribution.

Ces observations reflètent la situation d'aujourd'hui qui peut être évidemment modifiée en fonction de l'accroissement progressif de la confiance des utilisateurs grâce à la rédaction de spécifications claires et précises autant que par la mise en place de procédures d'essai.

4.4 Maintenance basée sur la fiabilité (RCM)

Ce paragraphe fournit une description plus détaillée de la méthode RCM indiquée en 5.1.

NOTE Le texte qui suit est extrait du rapport final (485 T 1049) publié par l'Association Canadienne de l'Electricité (CEA) en janvier 1997. Il est reproduit avec l'aimable autorisation du CEA.

La maintenance basée sur la fiabilité (RCM pour Reliability Centered Maintenance) est une technique ou un procédé utilisé pour préserver la fiabilité en mettant en place un programme de maintenance afin d'atteindre les objectifs souhaités, à savoir la fiabilité, les fonctions et la sécurité au coût le plus bas possible. Du fait que la fiabilité et la sécurité sont des critères de conception des équipements en général, la RCM s'applique de manière idéale à cette phase et sera ajustée dans les phases ultérieures en fonction de l'expérience du terrain. Les équipements des postes neufs sont ainsi spécifiés (conçus) en tenant compte de la RCM et le processus complet peut être appliqué. Pour les équipements de postes existants, la phase de conception de la RCM a été omise sauf pour ce qui concerne la fiabilité, les fonctions et la sécurité. Ceci peut contraindre à limiter l'application de la RCM au même niveau que pour un équipement neuf pour éviter toute influence sur la fiabilité, les fonctions ou la sécurité. Ceci concerne en particulier l'ajout de capteurs intrusifs pour obtenir la composante de maintenance prédictive de la RCM comme indiqué ci-dessous:

Dans le détail, le processus d'évaluation de la RCM comprend un certain nombre d'étapes:

- 1) choisir le système à évaluer (cela peut-être un système complet, un poste entier ou seulement les disjoncteurs et les transformateurs ou seulement des composants choisis dans le poste);*
- 2) définir le système et ses limites;*
- 3) définir les fonctions nécessaires et souhaitables du système RCM décrit;*
- 4) identifier les modes de défaillance fonctionnels;*
- 5) identifier les conséquences de chaque défaillance y compris leurs répercussions à l'intérieur et à l'extérieur du système;*

4.3 Retrofitting of existing switchgear components

In order to reduce the overall cost, electricity suppliers tend to extend the life of their equipment by adding monitoring units or by replacing some equipment parts even from different manufacturers.

While it is appropriate for the distribution network to replace original auxiliary equipment with new electronic technology, the situation is not similar for higher voltage networks. Reasons include the following differences between transmission and distribution equipment:

- retrofitting is easier for distribution substations than for transmission substations due to the lower cost of distribution equipment and the more flexible access to that equipment (lower impact of outages);
- integration level is higher for distribution substations and more easily accepted (protection and control functions within the same device for example);
- the use of new technologies is more easily accepted in distribution.

This is reflective of the present situation and may obviously be modified depending on the progressively higher confidence of users obtained through clear and accurate specifications as well as test procedures.

4.4 Reliability centered maintenance

This subclause gives a more detailed description of the RCM method identified in section 5.1.

NOTE The following text is extracted from the final report (485 T 1049) issued by the Canadian Electrical Association (CEA) in January 1997 and is reproduced with authorisation of the CEA.

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a technique or process used to preserve functional reliability by developing a maintenance program to achieve desired objectives with respect to reliability, operating function and safety at the lowest possible cost. Given that reliability and safety are design features of equipment in general, RCM is ideally first applied at this phase and later adjusted as dictated by field experience. New substation equipment will thus be specified (designed) with RCM in mind and the full process can be applied. For existing substation equipment, the RCM design phase has been missed out to a degree other than some inherent level of reliability, operating function and safety. This may inhibit the application of RCM to the same level as for new equipment, in order to avoid any impacting of the existing reliability, operating function and safety of the equipment. In particular this will influence the addition of intrusive sensors in order to achieve the predictive maintenance component of RCM as discussed below.

In detail, the RCM evaluation process consists of a number of steps:

- 1) select system to be evaluated (could be a complete system, complete substations or only the circuit-breakers and transformers or only selected components within the substation);*
- 2) define system and subsystem boundaries;*
- 3) define the necessary and desirable functions of the RCM system described;*
- 4) identify functional failure modes;*
- 5) identify consequences of each failure including the impact within and external to the defined system;*

- 6) *déterminer le niveau de criticité des conséquences;*
- 7) *choisir, pour chaque cause de défaillance identifiée, la tâche de maintenance appropriée et justifiable au plan économique;*
- 8) *collecter et vérifier les données liées au système (valeurs assignées, limites de fonctionnement, données résultant de l'expérimentation, défaillance, taux de défaillances, enregistrements de maintenance) afin de permettre de manière continue, la compréhension des modes de défaillances et de leurs effets.*

On notera que les étapes 4 à 6 sont communément traitées en tant que modes de défaillance et analyse de leurs effets (FMEA) alors que les étapes 4 à 7 sont désignées comme modes de défaillances et analyse de leurs effets et de leur niveau de criticité (FMECA).

La technique RCM assigne les tâches appropriées de maintenance pour prévenir les causes de défaillance dont les conséquences sont importantes. De même, la RCM peut être utilisée pour choisir l'approche de monitoring la mieux adaptée à la sélection des défauts potentiels avec suffisamment d'avance pour déclencher les actions correctives.

La RCM comporte trois composantes de tâches de maintenance avec en plus la possibilité de laisser la défaillance apparaître si aucune tâche de maintenance n'est économiquement rentable (figure 3).

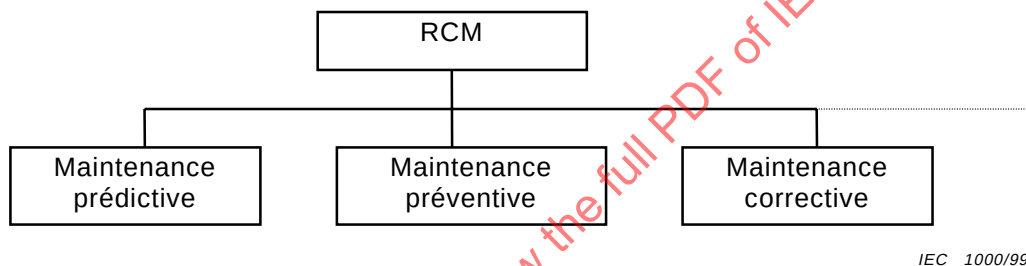


Figure 3 – Composantes des tâches de maintenance de la RCM

Le résultat des étapes 4 à 6 de la procédure d'évaluation de la RCM est utilisé pour définir les choix de maintenance en fonction des critères économiques et des niveaux de criticité. Un exemple classique des choix de stratégie de maintenance est fourni par la figure 4.

- 6) *determine how critical each of the consequences are;*
- 7) *select the appropriate and economically justifiable maintenance task for each critical failure cause identified;*
- 8) *collect and review data relating to the system (ratings, operating limits, experience, failures, failure rates, maintenance records) in order to continually update understanding of failure modes and effects.*

Note that steps 4 to 6 are commonly treated as a failure mode and effects analysis (FMEA), while steps 4 to 7 can be treated as a failure mode, effects and criticality analysis (FMECA).

The RCM technique assigns appropriate maintenance tasks to prevent failure causes with important consequences. Similarly, the RCM technique can be used to select the most appropriate monitoring approach in order to address detection of impending failures in sufficient time to take corrective action.

RCM has three component maintenance tasks, as well as planned run-to-failure if no maintenance task is economically effective (figure 3).

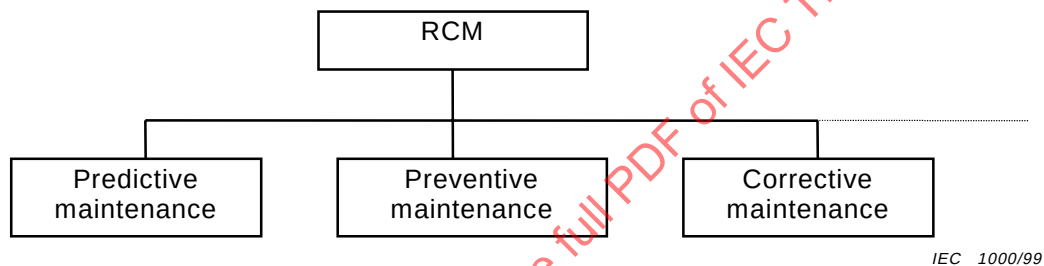


Figure 3 – RCM components maintenance tasks

The results of steps 4 to 6 of the RCM evaluation procedure are used to define the maintenance choices according to economical and criticality criteria. A classic example of that maintenance philosophy choice is shown in figure 4.

En général, la maintenance corrective est applicable à des éléments mineurs, doublés, non sujets à défaillance ou dont la défaillance est sans conséquence; la maintenance préventive est applicable à des éléments (souvent des éléments simples) qui sont affectés par l'usure et doivent être inspectés, nettoyés, lubrifiés ou remplacés à des intervalles connus; la maintenance prédictive est applicable à des éléments complexes qui sont sujets à des modes de défaillance multiples et aléatoires.

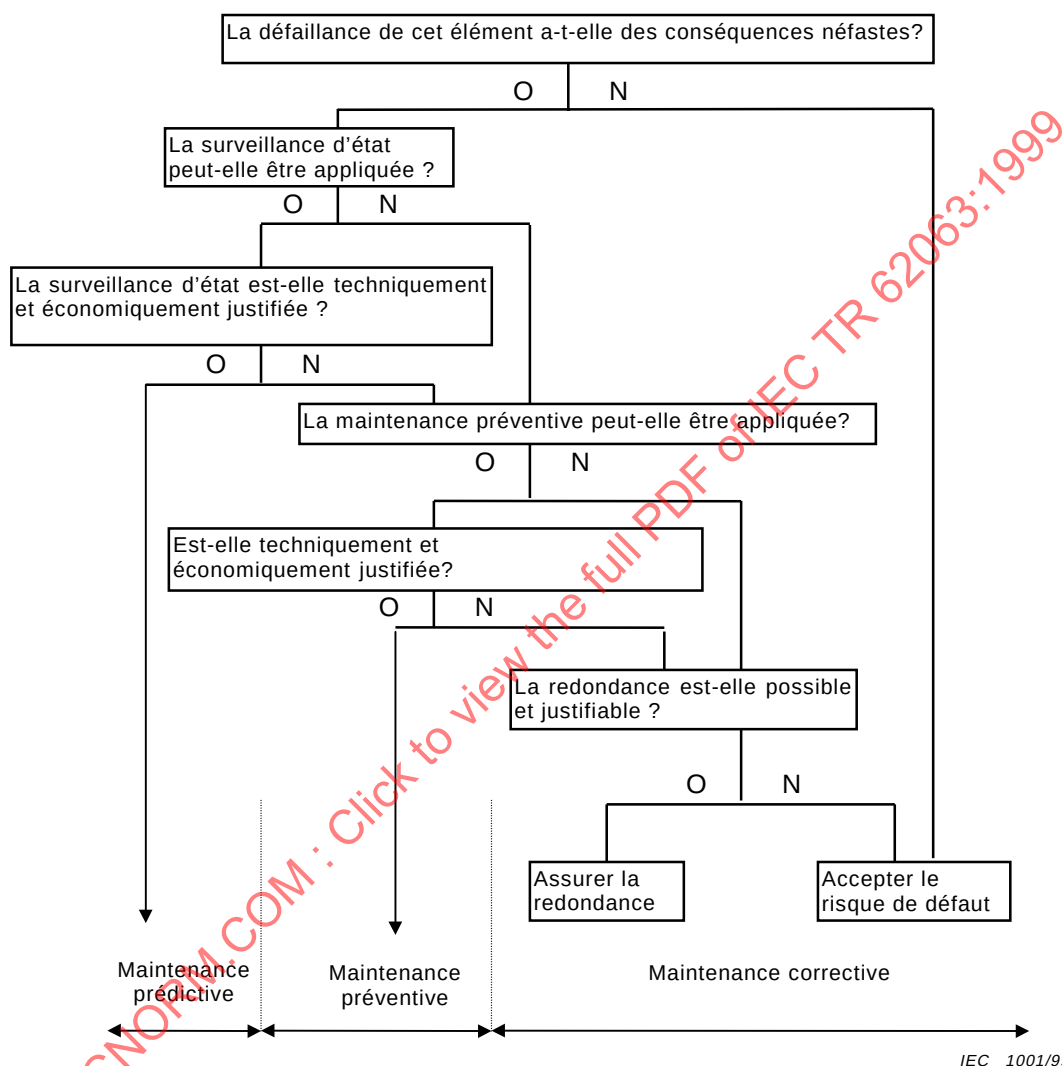


Figure 4 – Choix de la stratégie de maintenance

Si aucune tâche de maintenance n'est efficace pour la prévention des défauts, une inspection est suggérée. Si l'intervalle de temps entre deux inspections est plus long que le phénomène d'apparition des signes précurseurs de défaillance, alors la surveillance d'état (monitoring) est la meilleure alternative. Elle sera adoptée si elle satisfait au besoin défini d'une tâche de maintenance.

In general, corrective maintenance is applicable to minor items which are redundant or unlikely to fail, or whose failure is inconsequential; preventive maintenance is applied to items (mainly simple items), which are subject to wear out and should be inspected, cleaned, lubricated or replaced at known intervals; predictive maintenance is applied to complex items, which are subject to multiple and random failure modes.

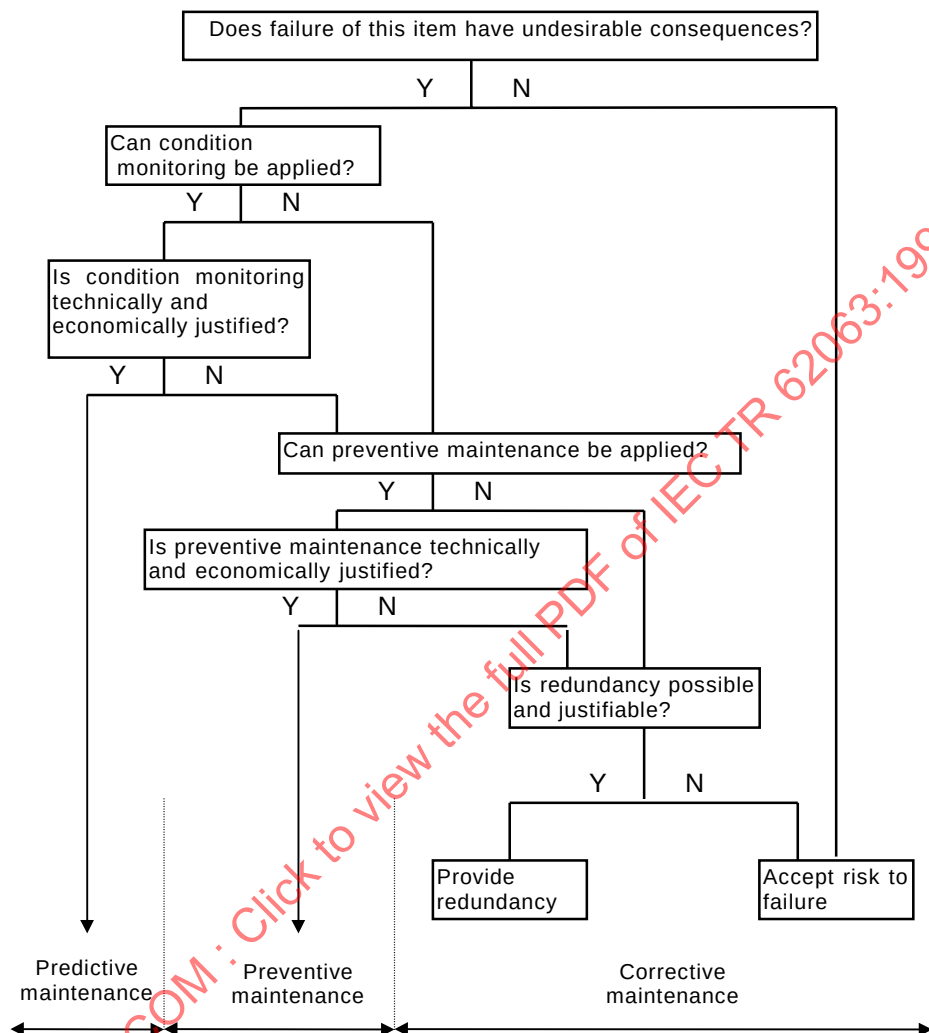


Figure 4 – Maintenance philosophy choices

If no maintenance task is effective at failure prevention, inspection is suggested. If the inspection interval is longer than the developing signs of failure cause, then on-line condition monitoring is the optimal alternative. On-line condition monitoring is chosen if it yields indication of the need for a maintenance task.

5 Tendances d'évolution de la technologie

5.1 Généralités

La technologie utilisée pour la partie basse tension des postes, c'est-à-dire les systèmes de commande et de monitoring, basée auparavant sur des dispositifs conventionnels électromécaniques câblés, a été, depuis le milieu des années quatre-vingts, de plus en plus influencée par l'introduction des systèmes de contrôle-commande numériques (SCS). Les arguments significatifs en faveur de ces équipements modernes, à base de calculateurs, sont leur interfaces homme – machine très supérieurs, leur flexibilité, leur convivialité, leur fiabilité de fonctionnement, leur encombrement réduit et aussi les possibilités qu'ils offrent pour la détection précoce des défauts, c'est-à-dire leur capacité d'autosurveillance continue.

Cette partie basse tension des systèmes directement associée à l'appareillage, c'est-à-dire l'équipement de commande électromécanique installé dans les enceintes contenant les mécanismes de manoeuvre (commutateurs auxiliaires, fins de course, etc.) n'a pas encore expérimenté les innovations malgré l'introduction des SCS.

Les interfaces avec le procédé, c'est-à-dire l'équipement primaire, sont réalisés traditionnellement en utilisant une technologie conventionnelle électromécanique. En ce qui concerne l'appareillage, l'expérience montre que la majorité de ses dysfonctionnement et de ses défaillances se produisent dans et autour les auxiliaires électromécaniques et les dispositifs de commande de leurs mécanismes de manoeuvre. En conséquence, la réduction systématique de l'équipement de commande électromécanique et du câblage parallèle entre le procédé et le système de contrôle-commande numérique permet d'envisager un accroissement significatif de la fiabilité. La disponibilité de l'appareillage sera augmentée en même temps que la rentabilité globale de l'ensemble tout au long de sa vie.

Les composants électromécaniques traditionnels peuvent être en général évités dans les interfaces en les remplaçant par des transducteurs modernes, des actionneurs et des dispositifs intégrant des micro-contrôleurs, en offrant à l'utilisateur non seulement les fonctions les plus évoluées mais aussi un large éventail d'options nouvelles dans le domaine du contrôle et du monitoring.

L'approche la plus évoluée dans la mise en œuvre de tels interfaces est représentée par un système distribué composé d'équipements électroniques autonomes installés aussi près que possible du procédé. Ces équipements peuvent être intégrés directement dans les enceintes renfermant les mécanismes de manoeuvre c'est-à-dire les enveloppes des disjoncteurs ou des sectionneurs pour assurer en local les tâches spécifiques au procédé. A l'intérieur de la baie, la communication entre ces équipements distribués et les relais de protection, le contrôleur de baie et les autres parties du système de commande est assurée de préférence par des liaisons séries (réseau procédé). De ce fait, l'hétérogénéité actuelle des circuits de commande où les liaisons câblées conventionnelles venant du procédé coexistent avec les techniques numériques flexibles du niveau immédiatement supérieur via des interfaces (exigeant des barrières et des convertisseurs) disparaîtra au profit d'une technologie numérique homogène couvrant tout le champ, du procédé au réseau.

5 Trends in technology

5.1 General

The technology in low voltage parts of substations, i.e. the substation control and monitoring systems, previously based on conventional hardwired electromechanical equipment, has, since the mid-eighties, been increasingly influenced by the introduction of digital substation control systems (SCS). Significant arguments in favour of these modern, computerised devices include their superior man-machine interface, their flexibility, their user-friendliness, their operational reliability, their reduced space requirements, and also the options they provide for early fault detection, for example their permanent self-supervision capability.

That low voltage part of systems directly associated with the switchgear, i.e. the electro-mechanical control equipment installed in the operating mechanisms housings (auxiliary switches, end position contacts, etc.) has, as yet, experienced no innovations, notwithstanding the introduction of SCS.

Interfacing with the process, i.e. with the primary components, is done traditionally with conventional electromechanical control technology. Concerning switchgear, the experience shows that the majority of their malfunctions and defects occur in and around the electromechanical auxiliary and control equipment of their operating mechanisms. In consequence, the systematic reduction of conventional electromechanical control equipment and parallel wiring between process and digital SCS can be expected to produce a substantial gain in reliability. The availability of the switchgear will rise, combined with enlarged overall cost-efficiency over its lifetime.

Traditional electromechanical components for process interfacing can generally be avoided by replacing them with modern transducers, actuators and integrated micro-controller techniques, providing the user not only with up-to-date functions but offering a broad range of new options in the field of process control and monitoring.

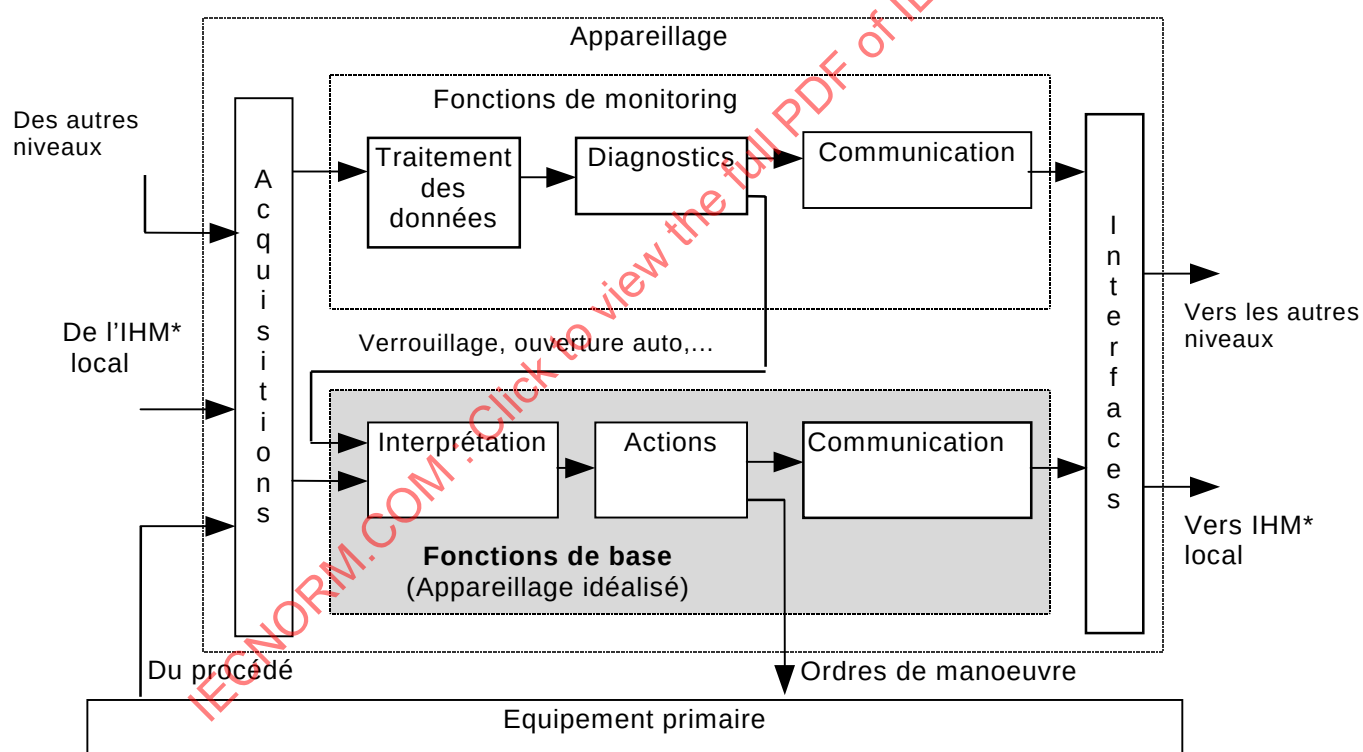
The most advanced approach for implementing such a process interfacing is a decentralised system consisting of autonomous electronic devices located as close to the process as possible. They can be directly integrated in the housings of operating mechanisms of for example circuit-breakers or disconnectors, and locally handle all process-specific tasks. Communication within a bay among these distributed devices and protection relays, the bay controller and other devices of the SCS, is preferably done via serial data communication (process bus). As a result of this step, today's heterogeneous control technology in substations, where conventional, rigid wiring coming from the process coexists with flexible computer technology on the next hierarchical level, with an interface in between (requiring e.g. EMI-barriers and signal level converters) will disappear in favour of a homogeneous digital control technology from the process to the network level.

L'équipement primaire, c'est-à-dire la partie haute tension des disjoncteurs, sectionneurs, etc. est aujourd'hui reconnu comme étant extrêmement fiable et techniquement sophistiqué. Son taux de défaillance est inférieur à celui des équipements qui le commandent. D'un autre côté, la tendance actuelle pousse au développement du monitoring de l'appareillage. Les dispositifs de monitoring peuvent être soit des équipements ajoutés à l'appareillage soit des parties intégrantes des systèmes (SCS) comme indiqué plus haut. Suivant la stratégie adoptée, le monitoring peut être une fonction en ligne ou hors ligne. C'est un objectif commun à tous les dispositifs de considérer, à partir des données d'acquisition obtenues à l'aide de diverses méthodes de diagnostic, l'équilibre économique optimal comme une fonction de l'état de l'appareillage visé, des intervalles de maintenance et du temps nécessaire pour investir dans de nouveaux équipements.

5.2 Architecture des systèmes

5.2.1 Architecture fonctionnelle

L'utilisation du concept d'un appareillage idéalisé avec ses fonctions de base auquel on ajoute les fonctions de monitoring conduit à un modèle fonctionnel général applicable à l'appareillage complet comme le montre la figure 5.



* IHM = interface homme - machine

IEC 1002/99

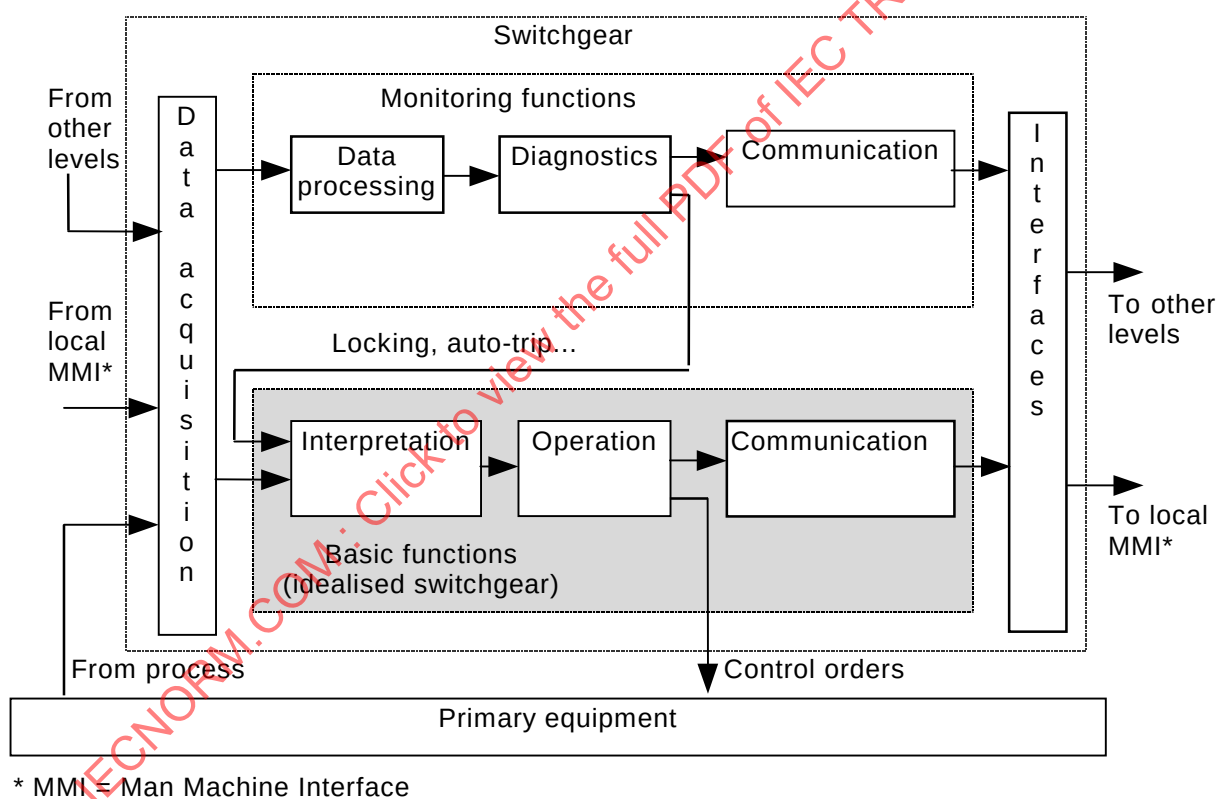
Figure 5 – Architecture fonctionnelle de l'appareillage

The primary equipment, for example high voltage parts of circuit-breakers, disconnectors, etc. are today acknowledged as extremely reliable and technically sophisticated. Their failure rates are well below the failure rates of their control equipment. In contrast to this, there is a trend towards more extensive switchgear monitoring. Monitoring devices can be either add-on kits for the switchgear or integral parts of an advanced, integrated SCS as mentioned above. Depending on the philosophy pursued, the monitoring can be done either on- or off-line. It is the common goal of all principles to find on the basis of the acquired data, with the help of various diagnostic methods, a commercial optimum as a function of the condition of the switchgear concerned, the maintenance intervals and the time of investment in new equipment.

5.2 System architecture

5.2.1 Functional architecture

Introducing the concept of an idealised switchgear with attached basic functions and adding functions dedicated to monitoring will result in a general functional model of a complete switchgear and controlgear as illustrated in figure 5.



IEC 1002/99

Figure 5 – Functional switchgear and controlgear architecture

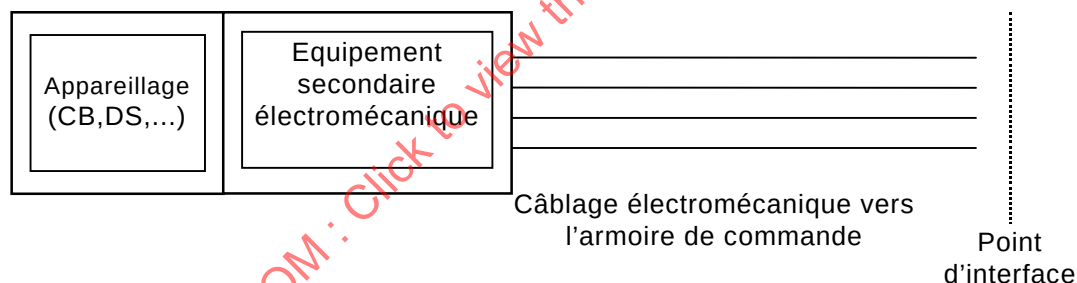
5.2.2 Evolution de l'architecture des systèmes

L'introduction d'équipements auxiliaires électroniques dans l'appareillage ouvre la voie à plusieurs concepts sur la manière dont les fonctions directement liées à l'appareillage sont réalisées et sur la façon dont on relie le procédé à l'équipement de protection et de commande au niveau de la baie où à celui du poste. Les capteurs, les actionneurs et l'électronique permettent de moderniser l'appareillage en ajoutant de nouvelles fonctions optionnelles et en offrant la possibilité de déplacer d'autres fonctions du niveau baie ou poste vers le procédé.

Grâce à l'utilisation de l'électronique, les équipements auxiliaires offrent de nombreuses possibilités de réaliser les fonctions demandées par l'appareillage. Suivant la technologie et les stratégies choisies, les équipements auxiliaires de l'appareillage s'organisent dans des architectures de systèmes spécifiques. De manière générale, les architectures de systèmes et leur mises en œuvre ne font pas l'objet de processus de normalisation. L'ouverture, c'est-à-dire la conformité et la compatibilité entre les produits de constructeurs concurrents est une exigence uniquement pour les interfaces de communication telles que les liaisons parallèles câblées traditionnelles ou des transmissions de données en série sur des fibres optiques ou des paires torsadées.

5.2.3 Comparaison des architectures

L'architecture traditionnelle des systèmes [ARCHITECTURE 1] est indiquée à la figure 6. La partie commande et auxiliaire de l'appareillage est constituée par un certain nombre de composants conventionnels tels que relais, câblage, répartiteurs, commutateurs auxiliaires, etc. installés dans l'enceinte du mécanisme de manoeuvre du disjoncteur ou à proximité de celui-ci dans une armoire de commande locale et connecté via des câbles multipaires à l'équipement de commande et de protection au niveau de la baie.



IEC 1003/99

**Figure 6 – [ARCHITECTURE 1]
Architecture traditionnelle de l'appareillage**

Dès lors que l'équipement secondaire traditionnel de l'appareillage a été modernisé plus ou moins complètement par les technologies nouvelles, l'interfaçage des équipements de commande et de protection traditionnels peut être réalisé conformément aux figures 6 et 7. Le système de configuration de l'architecture 2 de la figure 7 décrit un appareillage relié par des lignes séries à un dispositif distinct. Cela fournit, par exemple, aux salles de commande des postes, des canaux d'entrée et de sortie numériques simulant une partie des contacts auxiliaires électromécaniques antérieurs qui ont été remplacés à la figure 6 par des modules électroniques. Les fonctions nécessaires à la commande et au contrôle d'un tel système sont assurées par des modules logiciels.

5.2.2 Evolution of system architecture

The introduction of electronic auxiliary equipment in switchgear and controlgear opens the way to various concepts on how to realise the functionality directly associated to the switchgear and how to connect the process to protection and control equipment on bay or station level. Sensors, actuators and electronics allow upgrading the switchgear with new optional functions and providing possibilities to move other functions from bay or station level closer to the process.

Due to the use of electronics, auxiliary equipment offers many possibilities to realise the required functionality of the switchgear and controlgear. Depending on the chosen techniques, concepts or philosophies, the switchgear and controlgear secondary techniques will result in specific system architectures. Currently system architectures and their technical implementations are not subject to any standardisation processing. Openness, i.e. conformity and compatibility between competitors products is only required for the communication interfaces, such as traditional parallel wiring or serial data transmission via optical fibres or twisted wire pairs.

5.2.3 Architecture comparison

The traditional system architecture [ARCHITECTURE 1] is given in figure 6. The control and auxiliary part of the switchgear consists of a certain amount of conventional components, such as relays, wiring, terminal blocks, auxiliary switches, etc. located in the housing of the circuit-breaker operating mechanism or close by in a local control cubicle and is connected with a multi-wire cable to control and protection equipment on bay level.

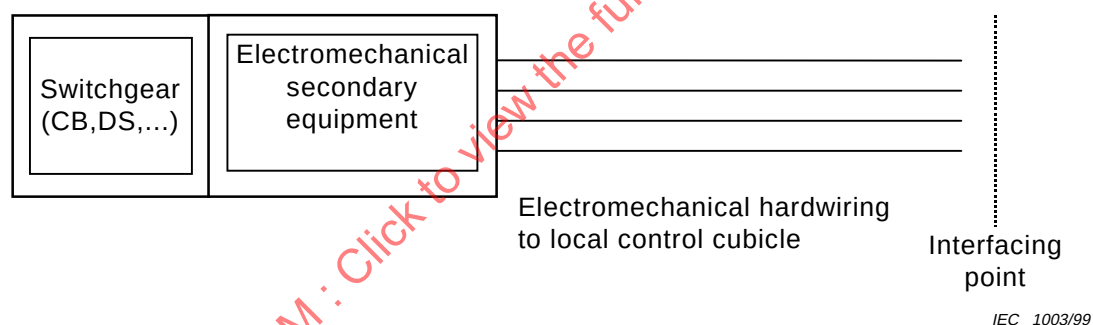
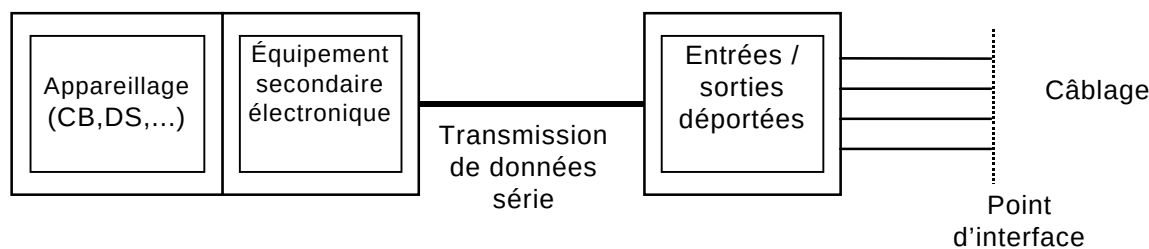


**Figure 6 – [ARCHITECTURE 1]
Traditional architecture of a switchgear**

As soon as the switchgear's traditional secondary equipment has been upgraded more or less completely by new technologies, the process interfacing to traditional control and protection equipment can be done according to figure 6 or figure 7. The system configuration given in figure 7 [ARCHITECTURE 2] describes switchgear linked via serial data transmission to a device. This provides, for example in the substations control room, digital input and output channels simulating some of the switchgear's former electromechanical auxiliary contacts, which have been replaced in figure 6 by electronics. The necessary functionality to control and operate such a system is provided by software modules.

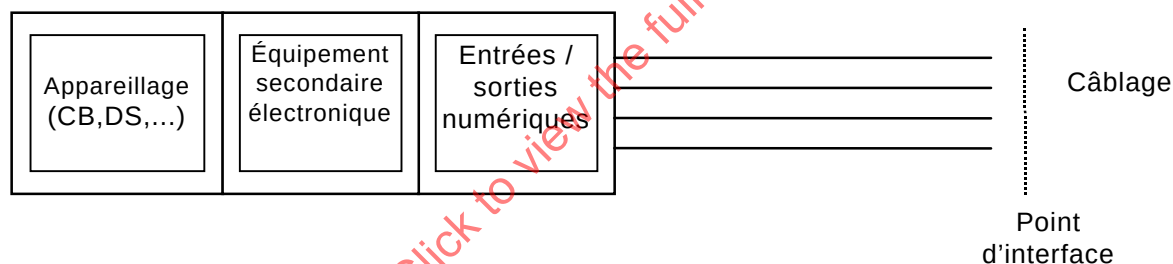


IEC 1004/99

Figure 7 – [ARCHITECTURE 2]
Appareillage avec équipement secondaire électronique dans un environnement câblé (distant)

Si l'on considère les systèmes numériques de commande de postes existants, il est possible d'interfacer les entrées/sorties déportées d'une manière plus directe et de proposer une configuration mieux adaptée, dérivée de l'architecture 2, appelé RTB (Remote Terminal Block), qui joue le rôle d'interface entre les liens séries et le calculateur de commande existant.

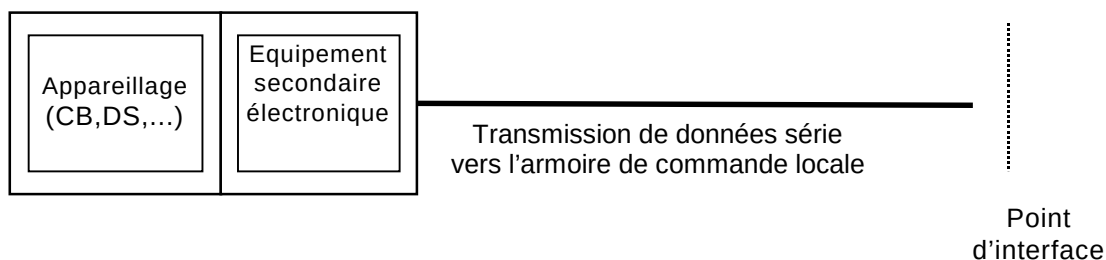
La configuration du système décrite à la figure 8 [ARCHITECTURE 3] est semblable à celle de la figure 6 à l'exception du lien de communication série entre l'appareillage et les entrées/sorties déportées. L'unité d'entrées/sorties déportées est installée dans l'enceinte de l'appareillage. Les ports de communication numériques sont accessibles sur les répartiteurs conventionnels ou par des connecteurs.



IEC 1005/99

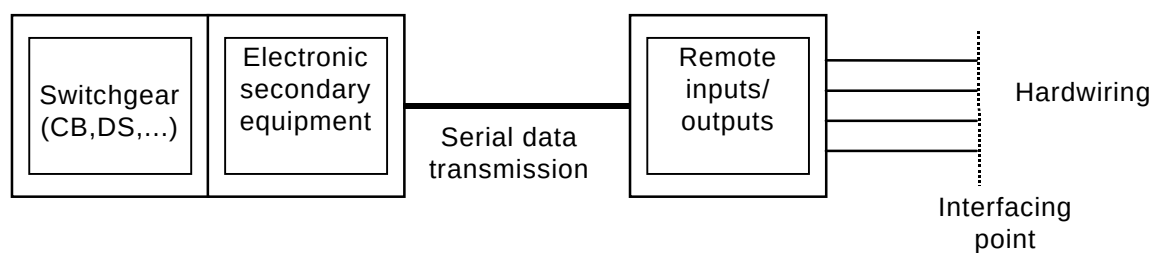
Figure 8 – [ARCHITECTURE 3]
Appareillage avec équipement auxiliaire électronique dans un environnement câblé (local)

Du fait de l'utilisation d'équipements auxiliaires électroniques et de systèmes de commande numériques au niveau de la baie et à celui du poste, les liens de transmission de données séries peuvent être utilisés comme le montre la figure 9 [ARCHITECTURE 4]. De ce fait, dans un tel environnement, il n'est pas nécessaire d'employer des contacts mécaniques ou de les simuler par des entrées / sorties numériques.



IEC 1006/99

Figure 9 – [ARCHITECTURE 4]
Appareillage avec équipement secondaire électronique connecté par des communications série

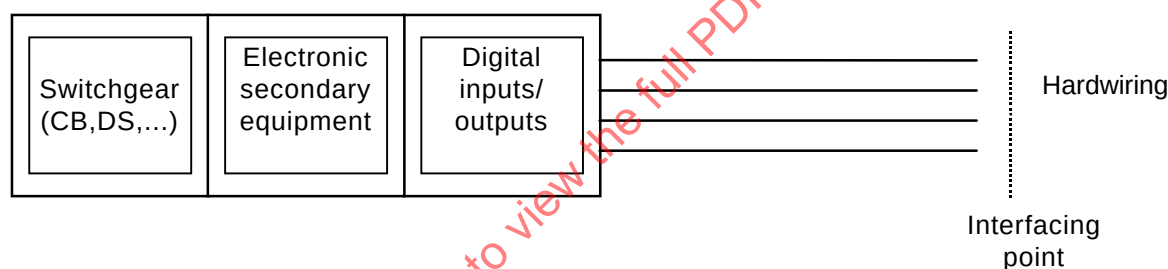


IEC 1004/99

**Figure 7 – [ARCHITECTURE 2]
Switchgear with electronic secondary equipment in a hardwired environment (remote)**

Taking into account existing digital substation control systems, it is possible to interface the remote inputs/outputs in a more direct digital way and to propose a slightly adapted configuration derived from architecture 2, called RTB (Remote Terminal Block), which will play the role of interface between the serial link and the existing control computer.

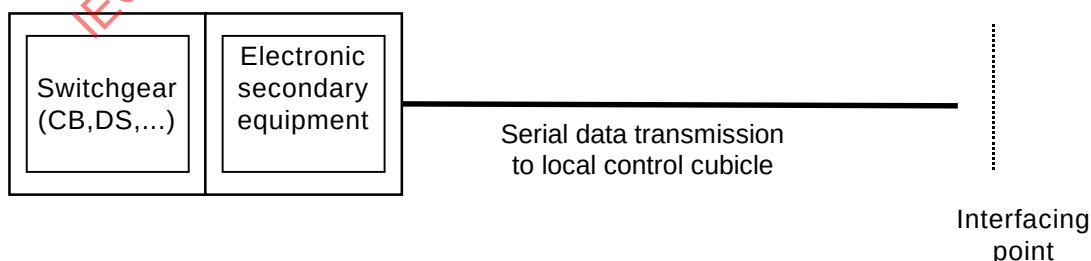
The system configuration described in figure 8 [ARCHITECTURE 3] is similar to the one in figure 6, with exception of the serial communication link between switchgear and remote input/output unit. The input/output unit is integrated in the housing of the switchgear. The digital ports are accessible at conventional terminal blocks or at a plug.



IEC 1005/99

**Figure 8 – [ARCHITECTURE 3]
Switchgear with electronic auxiliary equipment in a hardwired environment (local)**

As a result of the use of electronic auxiliary equipment and the use of digital control systems at bay and station level, serial data transmission links may be used as shown in figure 9 [ARCHITECTURE 4]. Consequently, in such an environment, there is no more need for mechanical contacts or their simulation with digital inputs and outputs.



IEC 1006/99

**Figure 9 – [ARCHITECTURE 4]
Switchgear with electronic auxiliary equipment connected to serial communication**

Les autres architectures présentées dans les figures 10 à 12 incluent certaines des architectures précédemment décrites dans les figures 6 à 9 en y ajoutant des fonctions non vitales pour le fonctionnement de l'appareillage. De telles fonctions additionnelles peuvent être des fonctions de monitoring, assurées dans le cas le plus simple par des dispositifs annexes indépendants reliés à l'appareillage. Les informations acquises du procédé sont transmises pour analyse via des liaisons câblées parallèles ou des liens série au niveau baie ou poste (figures 10 et 11) [ARCHITECTURES 5 et 6].

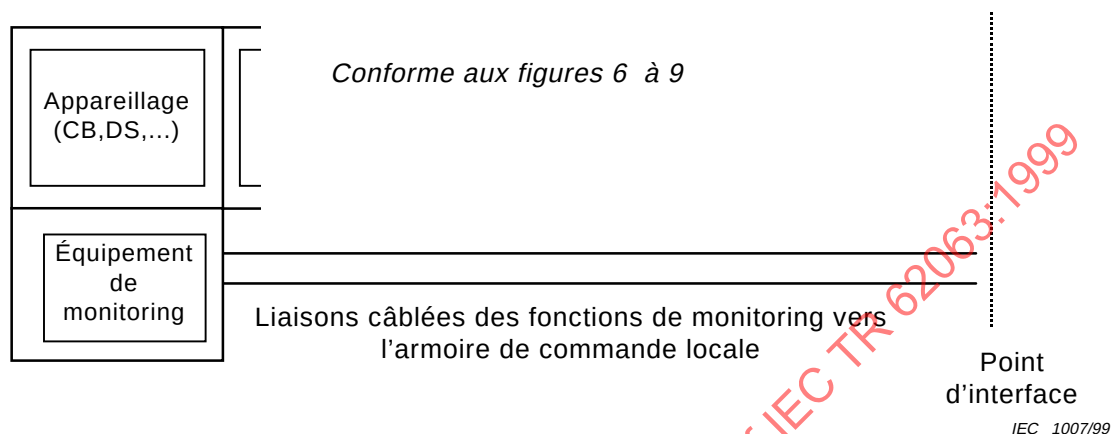


Figure 10 – [ARCHITECTURE 5]
Fonctions de monitoring assurées par des équipements annexes (liens câblés)

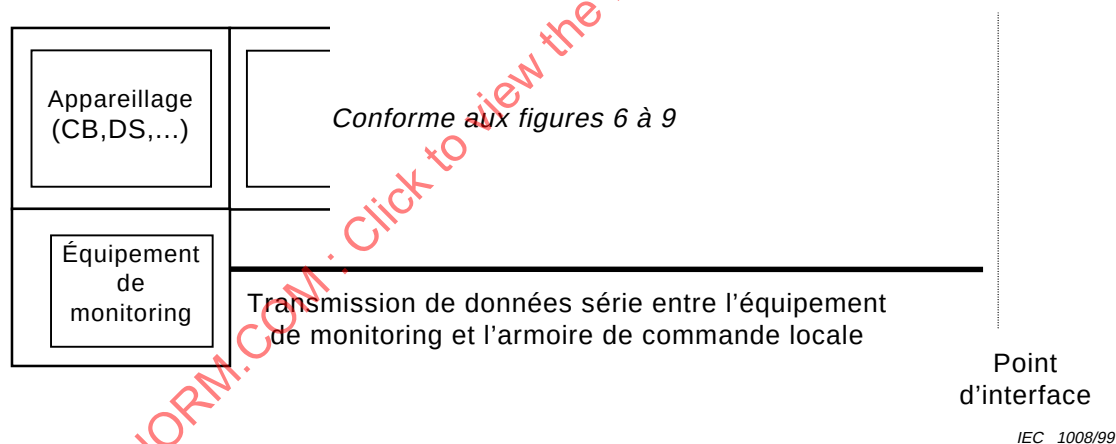


Figure 11 – [ARCHITECTURE 6]
Fonctions de monitoring assurées par des équipements annexes (liens série)

L'approche la plus intégrée est illustrée par la figure 12 [ARCHITECTURE 7]: les fonctions de monitoring sont intégrées à l'équipement électronique de commande directement associé à l'appareillage. Les fonctions de monitoring sont réalisées de façon modulaire pour tirer avantage des informations fournies par les capteurs reliés au procédé afin d'assurer le remplacement des équipements électromécaniques. La modularité du monitoring permet une utilisation plus efficace des informations fournies par les capteurs puisque faisant partie du logiciel nécessaire à la commande et au fonctionnement de l'appareillage.

Other systems architectures shown in figures 10 to 12 include some previous architectures described in figures 6 to 9 with the addition of functions that are not vital for the switchgear operation. Such additional functions can be monitoring functions, provided in the simplest case by independent add-on devices attached to the switchgear. The acquired process information is communicated for further evaluation either via parallel wiring or serial data transmission to the bay or station level of the substation (figures 10 and 11) [ARCHITECTURES 5 and 6].

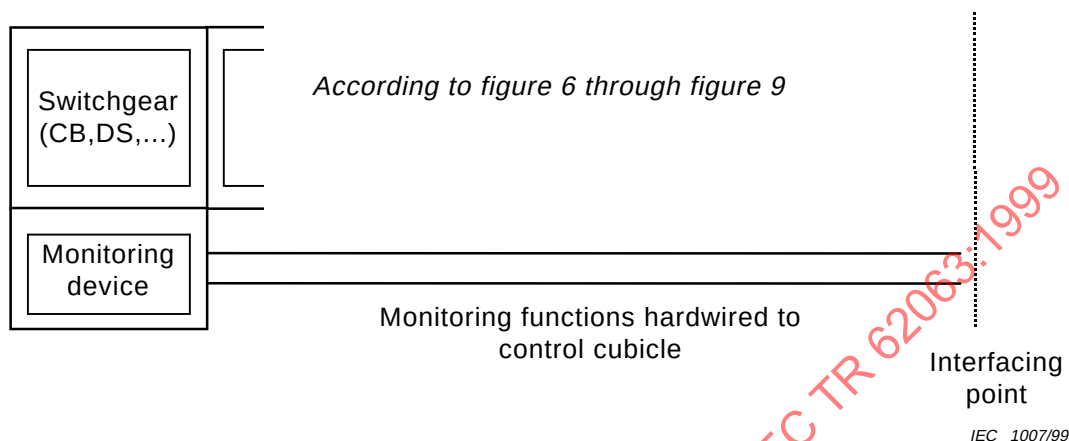


Figure 10 – [ARCHITECTURE 5]
Monitoring functions provided by independent add-on device (hardwired links)

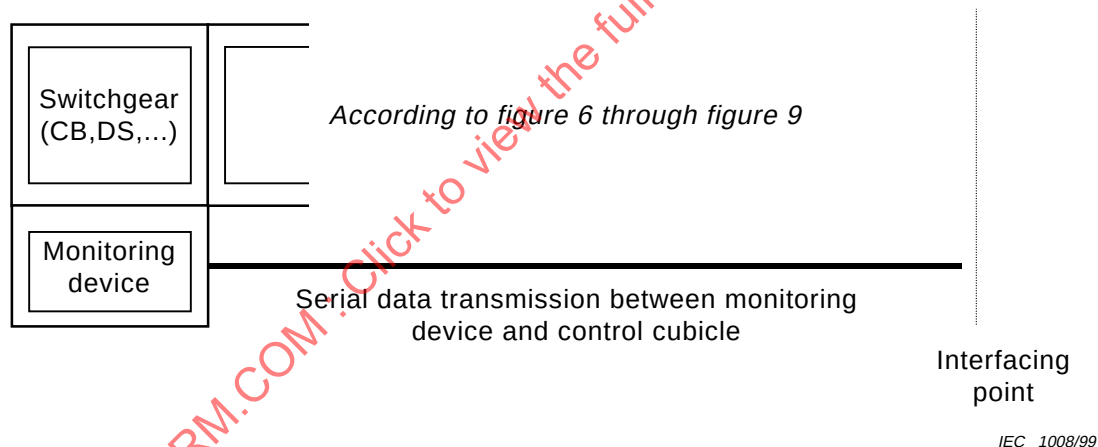
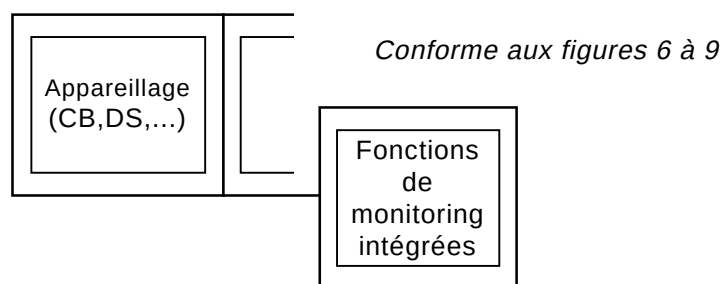


Figure 11 – [ARCHITECTURE 6]
Monitoring functions provided by independent add-on device (serial links)

The most integrated approach is given in figure 12 [ARCHITECTURE 7]: the monitoring functions are integrated in the electronic control equipment directly associated to the switchgear. The monitoring functions are realised with modules, taking advantage of the process information provided by the sensors, which are attached to the process in order to replace electromechanical equipment. The monitoring modules result in a more efficient use of the information provided by the sensors as that part of the software needed to fully control and operate the switchgear.



IEC 1009/99

Figure 12 – [ARCHITECTURE 7]
Fonctions de monitoring intégrées aux équipements auxiliaires électroniques de l'appareillage

5.2.4 Techniques d'interfaçage

5.2.4.1 Réseaux de terrain

Les communications série peuvent être réalisées en point à point ou en multipoint (connexions dédiées) pour remplacer ou compléter les liens parallèles (câblés).

La tendance forte, réalisable partiellement aujourd'hui et qui constitue l'évolution majeure dans l'avenir, est d'utiliser des réseaux de terrain pour remplacer ou compléter les liaisons séries ou parallèles.

L'emploi des réseaux de terrain permet de réduire considérablement le câblage et par voie de conséquence le coût de construction ainsi que celui de la maintenance. En outre, les liaisons par réseaux de terrain assurent une meilleure flexibilité permettant de modifier ou d'ajouter de l'information et d'atteindre des architectures vraiment distribuées.

Aujourd'hui, les freins à l'installation des réseaux de terrain tiennent à trois raisons principales:

- les performances actuellement disponibles des réseaux de terrain qui ont besoin d'être améliorées pour fournir une bande passante suffisante pour traiter les données critiques;
- le coût des connexions comparé à celui des liaisons séries ou parallèles;
- la normalisation des réseaux de terrain qui est nécessaire pour obtenir un niveau acceptable d'interopérabilité.

5.2.4.2 Bloc d'interface (RTB)

Le concept de RTB permet aux constructeurs et aux utilisateurs de spécifier des interfaces ouvertes entre l'appareillage (niveau 0) d'une part et le système de commande et de monitoring du poste (niveau 1) d'autre part. L'interface standard présenté à la figure 13 est de nature à satisfaire les besoins actuels des systèmes de commande numériques de postes.

Le LIEN est le point d'accès permettant un rafraîchissement continu des données dans l'image du procédé située dans le RTB. Les données sont fournies dans un sens par le niveau 0 et utilisées par le niveau 1, dans l'autre sens, par le niveau 1 et utilisées par le niveau 0.

Aucune hypothèse n'est faite sur la nature du LIEN qui peut être constitué par des lignes parallèles câblées multipaires ou des lignes séries ou un mélange des deux. Le support du LIEN peut être le cuivre ou la fibre optique.

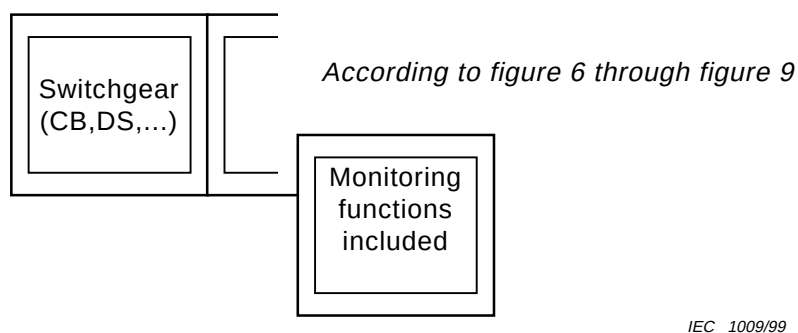


Figure 12 – [ARCHITECTURE 7]
Monitoring functions integrated in electronic auxiliary equipment of the switchgear

5.2.4 Interfacing techniques

5.2.4.1 Fieldbus

Serial communication may be achieved through point to point or multi-point links (dedicated connections) which replace or complete parallel (wired) links.

The major trend, currently partly available and representing the main evolution in the future, is to use fieldbus connections to replace or complete serial or parallel links.

The use of fieldbus will reduce drastically the cabling and consequently the cost of construction as well as maintenance. Furthermore, fieldbus connections result in better flexibility to change or add information and lead to really distributed architectures.

To date, restrictions to fieldbus implementation are due to three main reasons:

- performance of current available fieldbus which have to be increased in order to achieve the suitable bandwidth required for critical data;
- cost of connection versus serial or parallel links;
- standardisation of fieldbus, which is required to achieve a suitable level of interoperability.

5.2.4.2 Remote terminal block (RTB)

The RTB concept allows manufacturers and users to specify an open interfacing system between switchgear and controlgear (level 0) from one side, monitoring and control from substation (level 1) from the other side. The standard interface shown in figure 13 would fulfil the needs of today's computerised substation control systems.

The LINK is the access allowing continuous refreshment of data in the process image located in the RTB. The data are provided, both from level 0 system and used by level 1, and from level 1 and used by level 0.

There is no assumption concerning the LINK nature, which can be a parallel multi-wires line or a serial line or a mixing of each possibility. The LINK medium can be copper wire or optical fibre.

Dans le cas où on utilise l'équipement électronique au niveau 0, l'image procédé (PI) dans le RTB est accessible depuis le niveau 0 et le niveau 1.

- l'interface avec le niveau 0 est dédiée à l'accès de l'image PI à partir du LIEN;
- l'interface avec le niveau 1 est dédiée à l'accès de l'image PI par le niveau 1.

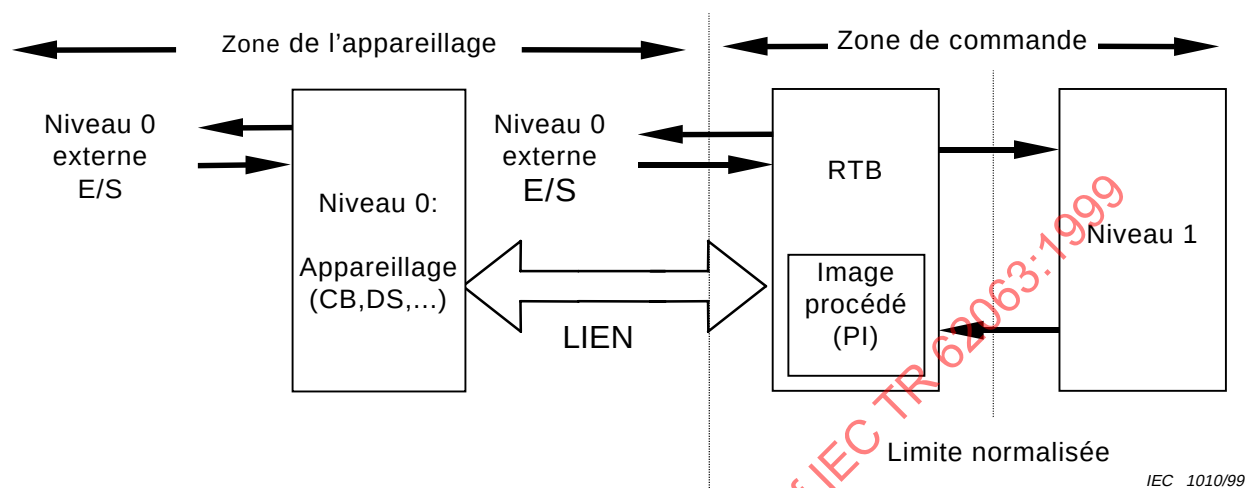


Figure 13 – Bloc d'interface (RTB)

Si l'on considère cette interface, elle ressemble, dans le cas présent à une interface classique d'un périphérique de calculateur permettant au RTB de communiquer avec le niveau 1. Une telle interface est généralement constituée par :

- un bus d'adressage;
- un bus de données;
- un bus de contrôle.

Chaque port assure de manière continue le rafraîchissement de la zone correspondante de PI, avec la fréquence adaptée au niveau de criticité de chaque donnée. Dans le cas présent, chaque niveau peut accéder en continu à ces données et les traiter.

Comme le RTB est connecté directement à l'équipement de commande et de monitoring utilisant un calculateur de niveau 1 (figure 14), il s'avère très utile d'installer ce RTB (fourni par le constructeur de l'appareillage comme un composant du niveau 0) dans le calculateur de niveau 1. De cette manière, la mémoire du RTB est directement accessible depuis le bus adresses/données du calculateur comme un simple module mémoire.

Un tel concept peut réduire le coût des interfaces et apporter ainsi un progrès substantiel dans la fiabilité, la disponibilité, la tenue aux contraintes électromagnétiques, surtout si le LIEN est constitué par des fibres optiques.

When using electronic equipment at level 0, the process image (PI) in the RTB is accessible from level 0 and from level 1.

- the level 0 interface is dedicated to the access to the PI versus the LINK;
- the level 1 interface is dedicated to the access of the PI by level 1 processing.

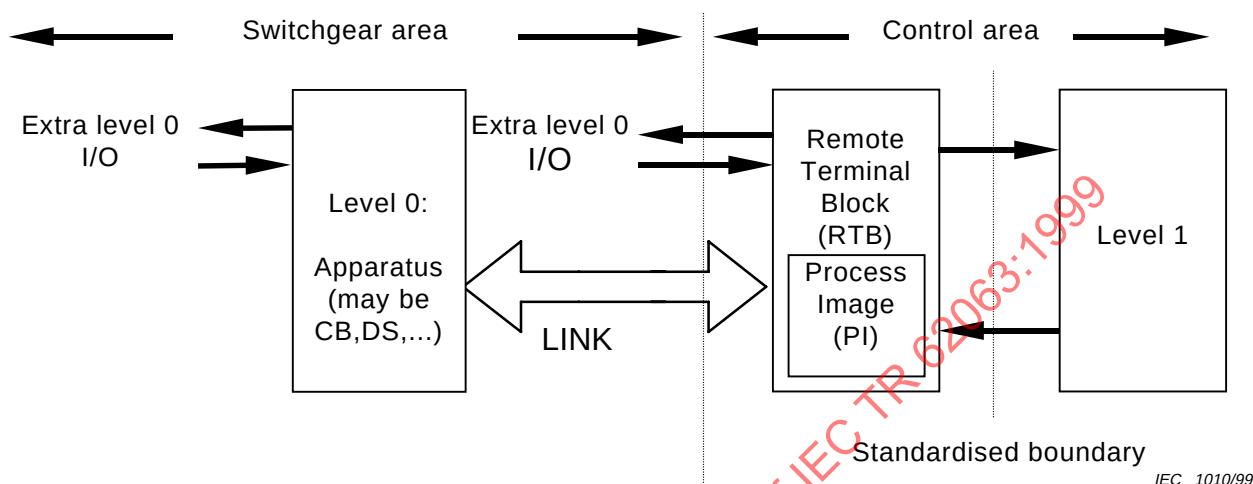


Figure 13 – Remote terminal block (RTB)

Looking at this interface, it appears in this case a classical computer peripheral interface allowing the RTB to dialogue with level 1. Such an interface is generally composed of

- address bus;
- data bus;
- control bus.

Each port continuously refreshes the corresponding PI area with convenient periodicity, according to the criticality use of each data. In this case, each level can continuously access and process this "periodically refreshed data".

As the RTB is connected directly to a digital monitoring and control equipment using a level 1 computer (figure 14), it would be very useful to install the RTB, (which is provided by the switchgear manufacturer as a component of level 0), in the level 1 computer. The reason is that in this solution the RTB memory is directly accessible on the address/data bus of the computer, as any other memory module would be.

This concept can reduce the cost of the interface and thus provide an interesting progress in reliability, availability, and EMC problem, particularly when the LINK is made with optical fibres.

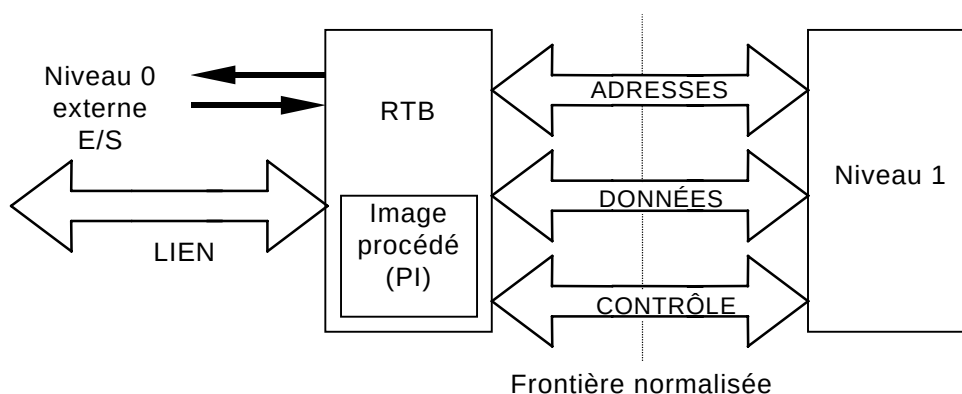


Figure 14 – Interface RTB – équipement de niveau 1

Au plan de la normalisation, le RTB pourrait faire l'objet d'une spécification de type Bus calculateur normalisé comme les spécifications internationales publiées (VME, MULTIBUS II, VXI, etc.). Cela constitue la première caractéristique importante de l'amélioration de l'interopérabilité entre les cartes électroniques RTB (fabriquées par le constructeur de l'appareillage) et le calculateur de commande et de monitoring de niveau 1 (non nécessairement fourni par le même constructeur). La deuxième caractéristique importante pour l'amélioration de l'interopérabilité est que le logiciel système constitue aussi une norme comme les spécifications internationales en matière de système d'exploitation (RMX, VRTX, OS9, etc.). Dans ce cas, le constructeur du RTB fournirait les pilotes logiciels correspondant au composant. Dans le cas contraire, le constructeur du RTB fournirait une description complète du fonctionnement de l'interface de manière à permettre au logiciel système de la gérer.

Cette technique transitoire permet d'obtenir un niveau satisfaisant d'ouverture et assure le passage des technologies d'aujourd'hui vers les futures solutions basées sur les réseaux de terrain.

5.3 Transducteurs et actionneurs

5.3.1 Transducteurs

5.3.1.1 Applications

Jusqu'à présent, les transducteurs utilisés dans le domaine de l'appareillage sont constitués par des équipements spécifiques. Par exemple, la mesure de la densité du SF₆ est réalisée par un capteur spécifique utilisé à cette seule fin. Aujourd'hui, de nombreux types de transducteurs sont utilisés dans divers domaines industriels et peuvent l'être aussi dans l'appareillage. Dans l'avenir la mesure de la densité sera effectuée par des transducteurs électroniques qui deviennent de plus en plus communs. Les transducteurs industriels suivants ont déjà été utilisés:

- pression (gaz, liquides);
- température (gaz, liquides);
- position;
- niveau de liquide;
- courant, tension (fréquences industrielles et hautes fréquences);
- vibrations mécaniques.

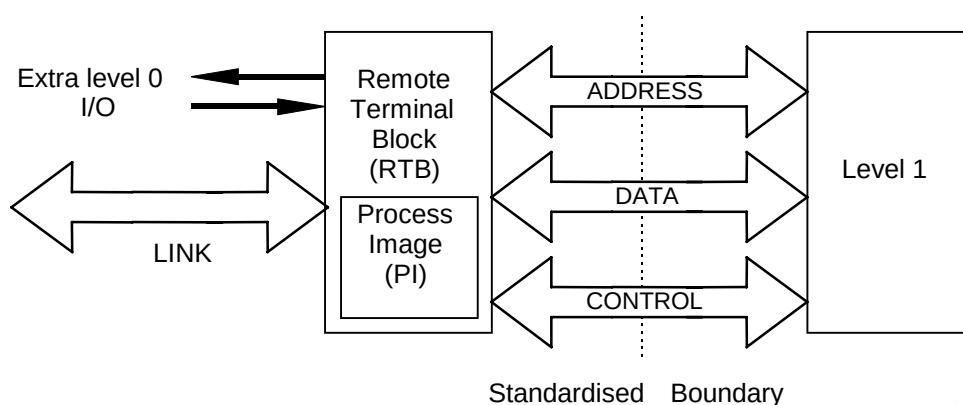


Figure 14 – RTB interface to level 1 equipment

In case of standardisation, the RTB should be specified in the way of a standard computer bus with international published specifications (VME, MULTIBUS II, VXI, etc.). This is the first important feature for improving the interoperability between the RTB electronic board (made by the switchgear manufacturer) and the monitoring and control computer level 1 (not necessarily built by the same manufacturer). The second important feature for improving the interoperability is that the system software should also be a standard with internationally published specifications of real time operating system (RMX, VRTX, OS9, etc.). In this case, the manufacturer of the RTB should provide the software drivers for this component. Otherwise, the manufacturer of the RTB has to fully describe the way his interface is working, so that the system software should be able to handle this interface.

This temporary technology can achieve a good level of openness, and fill the gap between today's technologies and future fieldbus solutions.

5.3 Transducers and actuators

5.3.1 Transducers

5.3.1.1 Application

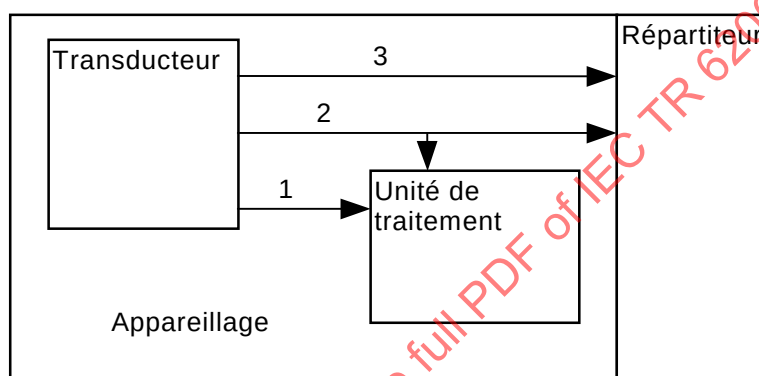
Up to now, dedicated devices have been used as transducers in the field of switchgear and controlgear. For instance, the measurement of the SF₆ density is made by a particular sensor used only in this field. Now numerous kinds of transducers are applied in various industrial fields and can also be applied for switchgear and controlgear. In the future, the density measurement will be done with electronic density transducers, which have become more and more common. The following industrial transducers have already been applied for:

- pressure (gas, hydraulic);
- temperature (gas, hydraulic);
- position;
- hydraulic level;
- current, voltage (industrial and high frequency);
- mechanical vibration.

5.3.1.2 Interfaçage des transducteurs

La technologie d'aujourd'hui offre de nombreuses solutions pour définir les interfaces des transducteurs. Le lien peut être réalisé par des fibres optiques ou des câbles de cuivre, le signal peut être transmis directement sous forme analogique ou encodé sur un format numérique, etc. Certaines de ces solutions sont considérées comme des normes «de facto» (par exemple, câbles de cuivre avec interfaces de 4-20 mA). Néanmoins, la technologie des transducteurs est constamment améliorée pour évoluer vers des transducteurs numérisés et intelligents («smart»). Cela conduit à des modifications, pour une fonction donnée, de la technique d'interfaçage.

La conséquence en constitue une différence majeure entre les technologies traditionnelles et électroniques: les bornes des transducteurs ne sont plus accessibles sur les répartiteurs de l'appareillage. Vu de l'utilisateur, le transducteur appartient à une «boîte noire» qui remplit la fonction souhaitée sans souci de la technologie utilisée.



IEC 1012/99

Figure 15 – Interfaçage des transducteurs

A la figure 15, trois types d'interfaces sont mis en évidence:

- 1 représente une connexion interne vers l'unité de traitement, non accessible de l'extérieur;
- 2 représente une connexion vers l'unité de traitement également accessible par des appareils externes;
- 3 représente un accès direct au transducteur sans lien avec l'unité interne de traitement.

Une large gamme d'interfaces disponibles est illustrée ci-après, triée en fonction du type de sortie:

- sortie analogique (les sorties analogiques sont généralement associées au support cuivre):
 - sortie en courant (exemple: 4-20 mA, qui est le type le plus répandu actuellement);
 - sortie en tension (exemple: 0-5 V, 0-10 V, etc.).
- sortie numérique:
 - interface série (cuivre);
 - RS 232, RS 485, etc.;
 - modulation de fréquence impulsionnelle;
 - modulation d'impulsions en largeur.
 - interface parallèle (peu fréquemment utilisée pour les transducteurs).

5.3.1.2 Transducers interfacing

Today technology offers many solutions to define the interface with transducers. The link can be made by optical fibres or copper wires, the signal can be directly transmitted in an analogue form or encoded into a digital format, etc. Some of these solutions are considered as "de facto" standards (example: copper wires with 4-20 mA interface). Nevertheless, the technology of transducers is continuously being improved, moving toward digital and intelligent "smart" transducers. This is resulting in the change of the interfacing technique for a given function.

In consequence, a major difference occurs between traditional and electronic technologies: the terminals of transducers may no longer be accessible at the terminal block of the switchgear. From the user's point of view, it belongs to a "black box" which performs the required functions regardless of the transducer technology.

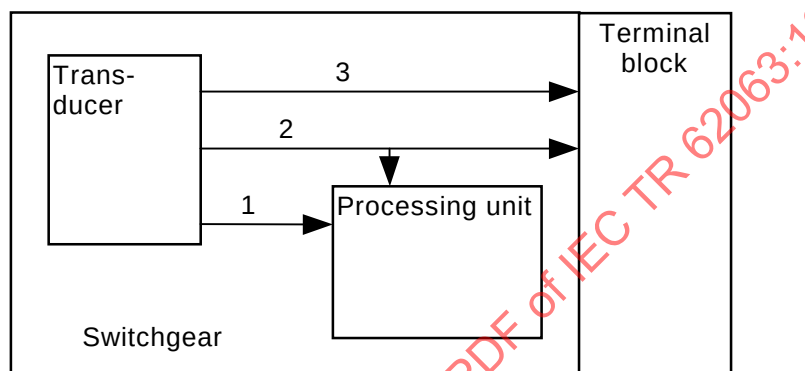


Figure 15 – Transducers interfacing

IEC 1012/99

In figure 15, three kinds of interfaces are shown:

- 1 represents an internal connection to the processing unit not available from outside;
- 2 represents a connection to the processing unit also available for external devices;
- 3 represents a direct access of the transducers without link with the internal processing unit.

The wide range of available interfaces is illustrated below, using the type of output interface as a selection criterion:

- analogue output (analogue outputs are generally associated with copper wire):
 - current output (example: 4-20 mA, which is the most prevalent at present);
 - voltage output (example: 0-5 V, 0-10 V, etc.).
- digital output:
 - serial interface (copper wire):
 - RS 232, RS 485, etc.;
 - pulse frequency modulation;
 - pulse width modulation.
 - parallel interface (not often used with transducers).

5.3.1.3 Critères de sélection

Il convient que l'emploi de transducteurs électroniques dans l'appareillage soit soumis au respect des critères suivants:

- immunité élevée aux perturbations électromagnétiques;
- possibilité d'autodiagnostic;
- disponibilité des pièces de rechange;
- facilité de maintenance.

Parmi les solutions indiquées en 5.3.1.2, l'interface 4-20 mA est un exemple de technologie répondant à ces critères. D'autres choix sont évidemment possibles.

5.3.1.4 Installation et essais

La tendance observée dans l'évolution de la technologie des transducteurs conduit à un changement dans l'attitude des utilisateurs et des constructeurs. Les bornes des transducteurs de type conventionnel sont généralement accessibles à l'utilisateur sur le répartiteur de l'équipement basse tension. Dans le cas des appareils de mesure de densité du SF₆ par exemple, les contacts associés au second niveau d'alarme sont généralement accessibles jusqu'au niveau 2 du poste. De ce fait, le transducteur est soumis aux exigences applicables à l'équipement de poste au plan de l'isolement diélectrique et de la CEM.

Lorsque des transducteurs électroniques sont associés à l'équipement électronique basse tension, la situation est différente: les bornes des transducteurs ne sont plus accessibles sur le répartiteur. De ce fait, elles ne sont plus soumises aux contraintes électriques applicables à celui-ci. En outre, la conception de la partie capteur des transducteurs exige un niveau faible d'isolation (500 V eff. est une valeur typique) qui n'est pas compatible avec les niveaux d'essai diélectrique actuels. La sécurité d'utilisation de tels transducteurs dans l'environnement fortement perturbé de l'appareillage peut être obtenue par des procédures de montage appropriées qui doivent être clairement définies par les spécialistes de l'appareillage. Cela concerne:

- le type de câble;
- les règles de mise à la terre des écrans de câbles;
- les chemins de câbles, y compris ceux situés à proximité immédiate de l'appareillage.

5.3.2 Actionneurs

La commande traditionnelle des actionneurs tels que les relais est remplacée par des dispositifs électroniques dont le nombre d'applications pratiques s'est accru.

Les fonctions de base de ces dispositifs sont listées ci-dessous:

- la commande des bobines de déclenchement/fermeture des disjoncteurs;
- la commande des moteurs des sectionneurs ou des sectionneurs de terre;
- la commande des moteurs de pompes hydrauliques.

L'avantage principal de l'utilisation de la commande électronique aux actionneurs est la facilité d'intégration dans ceux-ci des autotests et des fonctions de surveillance d'état suivantes:

- fonctions d'autodiagnostic (surveillance d'état);
- monitoring des circuits d'ouverture;
- monitoring des circuits de fermeture;
- monitoring des entraînements (Power MOS FET, etc.);
- monitoring des circuits de déclenchement.

5.3.1.3 Selection criteria

The application of electronic transducers within switchgear and controlgear should be made with respect to the following criteria:

- high electromagnetic immunity;
- possibility of self-diagnostic;
- availability of spare parts;
- easy maintainability.

Among the solutions given in 5.3.1.2, the 4-20 mA is an example of technology that fulfils these requirements. Obviously, other choices are possible.

5.3.1.4 Installation and tests

The trend observed in transducer technology is resulting in a change in the attitudes of users and manufacturers. The terminals of traditional transducers are generally accessible by the user at the terminal block of the low voltage equipment. Taking the case of SF₆ density meters for example, the contacts associated with the second level of alarm are generally accessible up to the level 2 of the substation. In consequence, the transducer is subjected to fulfil all the general requirements of the substation equipment in the field of dielectric insulation level and EMC.

With electronic transducers associated with electronic low voltage equipment, the situation is no longer the same: the terminals of the transducers may no longer be accessible at the terminal block level. Thus they are not subjected to the electrical stress applied to it. Moreover the design of the sensing elements of the transducers often requires a low insulation level (500 V r.m.s. typically), which is not compatible with the present dielectric test level. The safe use of such transducers in the harsh environment of switchgear can be achieved by appropriate installation procedures, which should be clearly stated by the switchgear specialists. This concerns:

- the type of cables;
- the earthing rules of cable screens;
- the path of cables, especially at the close vicinity of the switchgear.

5.3.2 Actuators

Traditional control of actuators such as relays has been replaced by electronic devices and the number of practical applications has been increased.

The basic functions of these devices are listed as follows:

- driving the tripping coil / closing coil of the circuit-breaker;
- driving the motor of the disconnecting switch or earthing switch;
- driving the hydraulic pump motor.

The main advantage of applying electronic control to actuators is considered to be the easy integration of the following self-diagnosis and condition monitoring functions:

- self-diagnosis (condition monitoring) functions;
- monitoring of tripping coil circuit;
- monitoring of closing coil circuit;
- monitoring of driving elements (power MOS FET, etc.);
- monitoring of triggering circuit.

5.4 Commande

La capacité de commander l'appareillage à tout instant est l'exigence fondamentale assignée à l'équipement de commande et de monitoring associé à l'installation.

Du fait de la tendance de l'industrie à utiliser davantage de systèmes intelligents pour la commande et le monitoring, cette exigence devient de plus en plus difficile à justifier en raison de l'intégration de plus en plus poussée des systèmes. Les exigences de base à satisfaire du point de vue de la sûreté ne doivent pas être compromises par l'adjonction de nouvelles fonctions.

Il faut que la conception permette aussi l'évolution vers des systèmes complètement numérisés et l'intégration des nouveaux systèmes dans les installations anciennes.

Cela peut être obtenu d'une façon optimale par une conception modulaire et/ou l'emploi de bus de terrain.

Les exigences en matière de commande des installations ont évolué, passant de fonctions de commande parallèle à de nouveaux systèmes basés sur des réseaux de terrain.

Il faut que les fournisseurs de nouveaux systèmes prennent en compte ces tendances et en même temps apporter des solutions pour la modernisation de leurs anciennes installations conventionnelles.

Cela peut être réalisé de plusieurs manières:

- utiliser des solutions à base d'éléments discrets pour satisfaire aux exigences de leurs clients;
- utiliser des interfaces normalisées ou des RTB;
- remplacer les anciens équipements par de nouveaux équipements de monitoring et de nouveaux transducteurs basés sur des bus de terrain normalisés.

Dans chaque cas, il convient que les exigences pour la conception de la commande prennent en compte des concepts de sûreté identiques. Les mécanismes de commande doivent être sûrs. Par exemple:

- dans le cas d'un équipement conventionnel, il peut être basé sur l'utilisation de dispositifs unipolaires commutés dotés d'alimentations auxiliaires non liées à la terre mais, dans le cas des alimentations auxiliaires reliées à la terre, les systèmes doivent être bipolaires;
- dans le cas où la technique de transmission série est utilisée, certaines exigences minimales telles que sélectionner, vérifier et actionner ainsi que les mécanismes de détection de discordance sont demandées pour garantir l'intégrité du mécanisme de commande.

5.5 Monitoring

5.5.1 Le monitoring aujourd'hui

Aujourd'hui le monitoring des disjoncteurs est limité à la surveillance de la densité de gaz, au comptage du nombre de manoeuvres, au comptage des démarrages du mécanisme de recharge de l'énergie et, dans certains cas, à la totalisation du courant total cumulé de court-circuit pour mesurer l'usure des contacts. En fonction de l'énergie accumulée ou de la densité du gaz, des alarmes ou des verrouillages sont activés par de simples contacts mécaniques. Les dispositifs de surveillance de la densité de gaz et de l'énergie sont tous deux parties intégrantes de l'équipement secondaire conventionnel.

5.4 Control

The ability to control the switchgear at any time is the most fundamental requirement of control and monitoring equipment associated with the plant.

As the industry tends to use more intelligent control and monitoring systems, this requirement becomes more difficult to be justified as systems become more integrated. The basic requirements to be met from the dependability point of view should not be compromised by the addition of new facilities.

The design should also allow the evolution towards full digital systems and the integration of new systems in old plants.

This can be optimally met by the use of modular design and/or process buses.

Requirements for plant control have evolved from discrete parallel control facilities to new process bus based systems.

Suppliers of new systems should recognise the trends and at the same time be capable of retrofitting their equipment to old conventional plants.

This can be realised in different ways:

- using discrete solutions to meet customers' requirements;
- by means of standardised interface units or remote terminal blocks;
- by replacement of old with new monitoring equipment and new transducers based on the standardised process bus.

In each case, the design requirements of the control should take into consideration the same dependability concepts. The control mechanism should be dependable. For example:

- in the case of conventional equipment, it could be based on the use of single pole switched devices with unearthed auxiliary power supplies but, in the case of earthed auxiliary power supplies, the systems should be double pole switched;
- where serial technology is employed, certain minimum requirements such as select, check and actuate and two-up detect mechanisms should be employed at the processing level to ensure integrity of the control mechanism.

5.5 Monitoring

5.5.1 Monitoring today

Today monitoring circuit-breakers is limited to gas density supervision, to an operation counter, to a start-up counter of the energy recharging mechanism, and in some cases to the accumulation of the total short-circuit current as a measure of the main contacts wear. Depending on the stored energy or the gas density, warnings or blocking are activated by simple mechanical contacts. Both gas density and energy supervision devices are integral parts of the conventional secondary equipment.

5.5.2 Connecteur de diagnostic

Davantage de détails sur l'état du mécanisme de manoeuvre peuvent être obtenus par des contacts auxiliaires et des transducteurs précâblés (par exemple pour la courbe de déplacement, le courants dans les bobines, l'énergie stockée, etc.) en association avec un connecteur de diagnostic accessible directement sur l'appareillage. Ce système de précâblage n'est pas capable de mémoriser ou de transmettre une quelconque information sur son état. Il permet seulement de réduire le temps d'inspection du disjoncteur. Cette inspection est effectuée à certains intervalles fixes de temps à l'aide d'un terminal d'essai portable ou d'une unité d'acquisition de données branchée sur le connecteur de diagnostic pour quelques essais de déclenchement ou de fermeture. L'analyse des données est faite soit sur le site par l'unité d'acquisition ou dans un centre de service de l'utilisateur ou du constructeur de l'appareillage.

5.5.3 Systèmes de monitoring annexes

Une approche technique plus avancée est basée sur des équipements électroniques de monitoring installés dans l'armoire de commande local des disjoncteurs. Les systèmes électroniques de monitoring sont des dispositifs annexes fonctionnant en parallèle avec l'équipement secondaire traditionnel du disjoncteur et assurent en général une surveillance en ligne du procédé. De nombreuses solutions techniques sont possibles mais toutes reposent sur le principe d'acquérir en permanence et de mémoriser localement l'information reçue des transducteurs répartis sur le procédé. Une approche plus avancée permet d'effectuer localement, en ligne et de manière autonome, certaines analyses de base comme comparer les courbes de déplacement des pistons avec les abaques du disjoncteur et en déduire des informations sur son état. Le diagnostic est transmis soit par une liaison série ou de manière plus rustique par des signaux d'état, via des sorties numériques câblées, vers un centre de service local ou distant.

5.5.4 Systèmes intégrés de commande et de monitoring

L'interface de procédé des systèmes de contrôle-commande de poste sera à l'avenir constitué de transducteurs, d'actionneurs directement reliés au procédé (c'est-à-dire l'appareillage) et de modules électroniques. Ils remplaceront l'équipement secondaire électromécanique conventionnel associé à l'appareillage y compris les interfaces de procédé câblés. Les modules électroniques, les transducteurs et les actionneurs assureront alors toutes les tâches requises pour le bon fonctionnement de l'appareillage. Ils constituent les dispositifs indispensables pour relier, via des communications série (bus procédé), le procédé au système numérique de commande du poste. Les fonctions offertes par les transducteurs pour le monitoring de la densité de gaz, du déplacement des pistons ou de l'énergie stockée et par les actionneurs pour l'activation du mécanisme de recharge d'énergie ou des bobines de déclenchement ou de fermeture peuvent être utilisées à la fois pour la commande et pour la surveillance (c'est-à-dire le monitoring) du procédé. Toutefois, il faut noter que la commande de procédé et la communication exigent une certaine redondance pour obtenir un niveau de fiabilité acceptable et qui est plus élevé que celui requis pour le monitoring. Pour mettre en œuvre des fonctions de monitoring dans un tel environnement, il suffit d'utiliser des modules logiciels annexes qui sont installés à la fois dans les modules électroniques de l'appareillage et dans le système de commande du poste. Les transducteurs supplémentaires peuvent être connectés soit au bus procédé soit directement aux entrées analogiques ou numériques fournies par les modules.

Les capacités de diagnostic d'un tel système dépassent celles strictement nécessaires aux systèmes de monitoring (3.1.3) par le fait qu'il accède à l'ensemble de l'équipement primaire d'une baie ou du poste entier.

5.5.2 Diagnostic connector

More details on the condition of an operating mechanism can be provided by pre-wired auxiliary contacts and transducers (for example for travel curve, coil currents, stored energy, etc.) in conjunction with a diagnostic connector accessible directly at the switchgear. Such pre-wired systems are not able to store or to transmit any condition information on their own. They only reduce the time for inspection per circuit-breaker. Inspection is done in certain fixed time intervals with a portable diagnostic terminal or a data acquisition unit plugged to the diagnostic connector during some test tripping and closing operations. Evaluation of the data is done either on site with the data acquisition unit or in a central service centre of either the utility or the switchgear manufacturer.

5.5.3 Add-on monitoring system

Technologically more advanced approaches are based on electronic monitoring equipment in local control cubicles, for example those of circuit-breakers. Electronic monitoring systems are additional devices working in parallel with the conventional secondary equipment of the switchgear and usually perform on-line supervision of the process. Numerous technical solutions are feasible, however all principles continuously collect and store locally the information acquired from transducers distributed over the process. More advanced approaches are able to perform both locally and on-line some basic evaluations on their own, such as comparison of the pistons' travel curve with finger prints of the switchgear and to derive some condition information about it. The diagnosis is transmitted either via serial data communication or – less sophisticated – with common status signals via hardwired digital outputs to any local or remote service centre.

5.5.4 Integrated system for control and monitoring

The process interfacing of future highly sophisticated substation control systems will be done with transducers, actuators directly attached to the process (for example to the switchgear) and electronic modules. These will replace the conventional electromechanical secondary equipment associated to the switchgear including all types of hardwired process interfacing. Electronic modules, transducers and actuators will provide all required functionality for proper operation of the switchgear. These devices are necessary to link the process via serial data communication (process bus) to a digital substation control system. The functionality provided by transducers for gas density monitoring, piston displacement or stored energy and actuators for the operation of an energy recharging mechanism or for tripping and closing solenoids can be used simultaneously for both process control and supervision of the process, i.e. monitoring. However, it is recognised that process control and communication might require some redundancy in order to reach an acceptable reliability level that is to be kept higher than that for monitoring. To activate monitoring functions in such an environment, only additional software modules in both the electronic module of the switchgear and the substation control system are needed. Additional transducers can be connected either to the process bus or directly to analogue or digital inputs provided by the modules.

The diagnostic capabilities of such a system are enhanced in comparison to pure condition monitoring systems (3.1.3) due to its access to the total primary equipment of a bay or the whole substation.