

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61921

Première édition
First edition
2003-04

**Condensateurs de puissance –
Batteries de compensation du facteur
de puissance basse tension**

**Power capacitors –
Low-voltage power factor
correction banks**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61921:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61921

Première édition
First edition
2003-04

**Condensateurs de puissance –
Batteries de compensation du facteur
de puissance basse tension**

**Power capacitors –
Low-voltage power factor
correction banks**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application.....	6
2 Références normatives	6
3 Termes et définitions	6
4 Marquage des batteries de condensateurs.....	8
5 Guide de conception, d'installation, d'exploitation et de sécurité.....	10
5.1 Généralités	10
5.2 Choix des constituants.....	10
5.3 Conception	10
5.4 Installation et exploitation	16
5.5 Sécurité	20
6 Compatibilité électromagnétique	24
6.1 Emission.....	24
6.2 Immunité	24
6.3 Ensembles incorporant des équipements électroniques	24
7 Essais.....	26
7.1 Classification des essais.....	26
7.2 Essais de type	28
7.3 Essais individuels	30
Annexe A (normative) Valeurs minimales et maximales des sections des conducteurs de cuivre convenant aux raccordements.....	32
Annexe B (normative) Méthode pour calculer la section des conducteurs de protection sous l'aspect des contraintes thermiques causées par les courants de courte durée	34
Annexe C (informative) Exemples représentatifs d'ensembles	36
Annexe D (informative) Formules pour les condensateurs et les installations	38
Bibliographie.....	42

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	7
4 Marking of a capacitor bank	9
5 Guide for design, installation, operation and safety.....	11
5.1 General	11
5.2 Choice of components	11
5.3 Design	11
5.4 Installation and operation.....	17
5.5 Safety	21
6 Electromagnetic compatibility.....	25
6.1 Emission.....	25
6.2 Immunity.....	25
6.3 Assemblies incorporating electronic equipment.....	25
7 Tests	27
7.1 Classification of tests.....	27
7.2 Type tests.....	29
7.3 Routine tests	31
Annex A (normative) Minimum and maximum cross-sections of copper conductors suitable for connections	33
Annex B (normative) Method of calculating the cross-sectional area of protective conductors with regard to thermal stresses due to currents of short-duration	35
Annex C (informative) Typical examples of assemblies	37
Annex D (informative) Formulae for capacitors and installations.....	39
Bibliography.....	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS DE PUISSANCE – BATTERIES DE COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE BASSE TENSION

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 de la présente Norme internationale 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 Norme internationale CEI 61921 a été établie par le comité d'études 33 de la CEI: Condensateurs de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
33/387/FDIS	33/390/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**POWER CAPACITORS –
LOW-VOLTAGE POWER FACTOR CORRECTION BANKS**

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 specifications, 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 shall 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 International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61921 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors.

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

FDIS	Report on voting
33/387/FDIS	33/390/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

CONDENSATEURS DE PUISSANCE – BATTERIES DE COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE BASSE TENSION

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux batteries de condensateurs à basse tension en courant alternatif destinées à être utilisées pour la compensation du facteur de puissance, ces batteries comportant des appareillages de connexion et de commande intégrés capables de mettre sous tension ou hors tension des fractions de l'ensemble afin de compenser le facteur de puissance du réseau.

Sauf indication contraire dans la présente norme et si cela est applicable, les batteries de compensation du facteur de puissance basse tension doivent répondre aux règles énoncées dans la CEI 60439-1 et dans la CEI 60439-3.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60439-1:1999, *Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 1: Ensembles de série et ensembles dérivés de série*

CEI 60439-3:1990, *Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 3: Règles particulières pour ensembles d'appareillage BT destinés à être installés en des lieux accessibles à des personnes non qualifiées pendant leur utilisation – Tableaux de répartition*

CEI 60831-1:1996, *Condensateurs shunt de puissance autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation*

CEI 60931-1:1996, *Condensateurs shunt de puissance non autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions de la CEI 60439-1, de la CEI 60831-1 et de la CEI 60931-1, ainsi que les définitions suivantes, s'appliquent.

3.1

batterie de condensateurs basse tension c.a.

combinaison d'un ou de plusieurs condensateurs unitaires à basse tension avec les appareils de connexion associés et les matériels de commande, de mesure, de signalisation, de protection, de régulation, etc., complètement assemblés sous la responsabilité du fabricant avec toutes leurs liaisons internes mécaniques et électriques et leurs éléments de construction

POWER CAPACITORS – LOW-VOLTAGE POWER FACTOR CORRECTION BANKS

1 Scope

This International Standard is applicable to low-voltage a.c. capacitor banks intended to be used for power factor correction purposes, equipped with a built-in switchgear and controlgear apparatus capable of connecting to or disconnecting from the mains part(s) of the bank with the aim to correct its power factor.

Low-voltage power factor correction banks if not otherwise indicated hereinafter and where applicable shall comply with the requirements of IEC 60439-1 and those of IEC 60439-3.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60439-1:1999, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies*

IEC 60439-3:1990, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 3: Particular requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use – Distribution boards*

IEC 60831-1:1996, *Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

IEC 60931-1:1996, *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the following definitions, together with the definitions found in IEC 60439-1, IEC 60831-1 and IEC 60931-1 apply.

3.1

low-voltage a.c. capacitor bank

combination of one or more low-voltage capacitor units together with associated switching devices and control, measuring, signalling, protective, regulating equipment, etc., completely assembled under the responsibility of the manufacturer with all the internal electrical and mechanical interconnections and structural parts

NOTE 1 Dans la présente norme, les abréviations «batterie automatique» et «ensemble» sont utilisées pour désigner une batterie de condensateurs à basse tension à courant alternatif à commande automatique ou non automatique.

NOTE 2 Les constituants des appareillages de connexion et de commande de la batterie automatique peuvent être électromécaniques ou électroniques.

3.2

gradin de condensateurs **gradin**

combinaison d'un ou de plusieurs condensateurs unitaires manœuvrés ensemble

3.3

régulateur varométrique **régulateur**

circuit conçu pour calculer la puissance réactive absorbée par la charge raccordée à l'alimentation de puissance et pour commander la connexion et la déconnexion des gradins de la batterie automatique de façon à compenser la puissance réactive

NOTE 1 La puissance réactive est normalement calculée à la fréquence fondamentale.

NOTE 2 Le régulateur peut être incorporé ou séparé et est normalement paramétré en fonction de la batterie avant fonctionnement.

3.4

courant transitoire d'enclenchement I_t

surintensité transitoire d'amplitude et de fréquence élevées qui peut apparaître lorsqu'un condensateur est mis sous tension, l'amplitude et la fréquence étant déterminées par des facteurs tels que l'impédance de court-circuit du réseau, l'importance de la capacité en parallèle déjà sous tension et l'instant de connexion

3.5

puissance réactive assignée Q_N (d'un ensemble)

puissance réactive totale d'un ensemble à la fréquence et à la tension assignées, calculée à partir de l'impédance totale de la batterie en incluant les inductances éventuelles

4 Marquage des batteries de condensateurs

Les informations minimales suivantes doivent être données par le fabricant dans une notice d'instruction ou, en variante, sur demande de l'acheteur, sur la plaque signalétique fixée sur l'ensemble.

- 1) Nom du fabricant ou sa marque de fabrique.
- 2) Numéro d'identification ou désignation du type.
- 3) Date de fabrication, en clair ou sous forme de code.
- 4) Puissance réactive assignée, Q_N en kilovars (kvar).
- 5) Tension assignée, U_N en volts (V).
- 6) Fréquence assignée, f_N en hertz (Hz).
- 7) Températures ambiantes minimale et maximale en degrés Celsius (°C).
- 8) Degré de protection.
- 9) Tenue aux courts-circuits, en ampères (A).

NOTE 1 Throughout this standard, the abbreviations “automatic bank” and “assembly” are used for a low-voltage a.c. capacitors automatic or non-automatic bank.

NOTE 2 The components of switchgear and controlgear of the automatic bank may be electromechanical or electronic.

3.2

step of capacitor bank

step

combination of one or more capacitor units switched together

3.3

automatic reactive power regulator

controller

circuit designed to calculate the reactive power absorbed by the load connected to the power line and to control the switching on and off of the steps of the automatic bank, in order to compensate for the reactive power

NOTE 1 The reactive power is normally calculated at the fundamental frequency.

NOTE 2 The controller may be “built-in” or “free-standing” and has usually to be adjusted for each bank before operation.

3.4

transient inrush current I_t

transient overcurrent of high amplitude and frequency that may occur when a capacitor is switched on, the amplitude and frequency being determined by factors such as the short-circuit impedance of the supply, the amount of energized capacitance switched in parallel and the instant of the switching

3.5

rated reactive power Q_N (of an assembly)

total reactive power of an assembly at the rated frequency and voltage, calculated by the total impedance of the bank including reactors, if any

4 Marking of a capacitor bank

The following minimum information shall be given by the manufacturer in an instruction sheet or alternatively, on request of the purchaser, on a rating plate to be fixed on the assembly.

- 1) Manufacturer's name or trademark.
- 2) Identification number or type designation.
- 3) Date of manufacture, in clear or code form.
- 4) Rated reactive power, Q_N in kilovars (kvar).
- 5) Rated voltage, U_N in volts (V).
- 6) Rated frequency, f_N in hertz (Hz).
- 7) Minimum and maximum ambient temperatures in degrees Celsius (°C).
- 8) Degree of protection.
- 9) Short-circuit withstand strength, in amperes (A).

5 Guide de conception, d'installation, d'exploitation et de sécurité

5.1 Généralités

Contrairement à la majorité des appareils électriques, les condensateurs shunt, lorsqu'ils sont en service, fonctionnent en permanence à pleine puissance ou à des puissances qui n'en diffèrent qu'en raison de variations de la tension et de la fréquence.

Les contraintes et les températures excessives abrègent la vie des condensateurs et en conséquence, il convient que les conditions de fonctionnement (c'est-à-dire température, tension et courant) soient rigoureusement contrôlées.

Il y a lieu de noter que l'introduction d'une capacité dans un réseau peut en perturber les conditions de fonctionnement (par exemple amplification des harmoniques, auto-excitation des machines, surtensions de connexion, fonctionnement défectueux des appareils de télécommande à fréquence musicale, etc.).

En raison des différents types de condensateurs et des nombreux facteurs qui entrent en jeu, il n'est pas possible de couvrir, par des règles simples, tous les cas d'installation et d'exploitation. Les indications données ci-après portent sur les points les plus importants qu'il y a lieu de considérer. En outre, les instructions du fabricant et des distributeurs d'électricité doivent être suivies.

5.2 Choix des constituants

Le choix des constituants d'un ensemble doit être effectué en apportant une attention particulière à l'accord entre leur catégorie de température ambiante et celle de l'ensemble.

5.3 Conception

5.3.1 Système de compensation du facteur de puissance intégré dans un tableau général

L'appareillage nécessaire à la correction automatique du facteur de puissance d'une installation, comprenant le régulateur, les fusibles, les appareils de connexion, les condensateurs et les inductances, peut être installé de manière à faire partie intégrante du tableau général.

Cet appareillage peut aussi être installé dans une cellule séparée du tableau général ou simplement ajouté dans l'enveloppe commune du tableau général.

5.3.2 Système de compensation du facteur de puissance indépendant

L'ensemble est indépendant et est habituellement installé accolé ou à proximité du tableau général ou du tableau secondaire. Il comprend généralement un jeu de barres qui a une tenue au courant de défaut compatible avec le tableau général ou le tableau secondaire ou avec le courant de défaut de cette partie de l'installation.

Ce jeu de barres est raccordé par barres ou par câbles à la partie principale de l'installation.

Un ensemble de fusibles, un disjoncteur ou un interrupteur-fusible raccordés à un organe de manœuvre puis à la batterie de condensateurs, sont alimentés à partir de cette partie de jeu de barres.

5.3.3 Système de compensation du facteur de puissance automatique avec condensateurs montés à distance

Tous les constituants à l'exception des condensateurs sont installés dans l'armoire de commande.

5 Guide for design, installation, operation and safety

5.1 General

Unlike most electrical apparatus, shunt capacitors, whenever energized, operate continuously at full load, or at loads that deviate from this value only as a result of voltage and frequency variations.

Overstressing and overheating shorten the life of a capacitor, and therefore the operating conditions (that is temperature, voltage and current) should be strictly controlled.

It should be noted that the introduction of a capacitance in a system might produce unsatisfactory operating conditions (for example amplification of harmonics, self-excitation of machines, overvoltage due to switching, unsatisfactory working of audio-frequency remote-control apparatus, etc.).

Because of the different types of capacitors and the many factors involved, it is not possible to cover, by simple rules, installation and operation in all possible cases. The following information is given with regard to the more important points to be considered. In addition, the instructions of the manufacturer and the power supply authorities shall be followed.

5.2 Choice of components

The choice of components of an assembly shall be carried out with careful reference to compliance between their ambient air temperature category and that of the assembly itself.

5.3 Design

5.3.1 Power factor correction system enclosed within a main switchboard

The equipment needed for the automatic correction of power factor in an installation, including controller, fuses, switching devices, capacitors and reactors (chokes), can be installed as an integral part of the main switchboard.

This equipment can be also installed in a separate shell of the main board or simply as an added part in the common main switchboard shell.

5.3.2 Free standing power factor correction system

The equipment is free standing and usually installed adjacent or close to the main switchboard or relevant sub-board. It generally has a main bus bar arrangement of the required fault level to match the adjacent main switchboard or sub-board or the required fault current of that section of the installation.

This bus bar section is bus barred or cabled back to the main supply of the installation.

Feeding off this bus bar section is a group of fuses, circuit-breakers or fused switch which are wired to a switching device and then to the capacitor banks.

5.3.3 Automatic power factor correction system with remote mounted capacitors

All components except for the capacitors are mounted in the control cubicle.

Les condensateurs et les inductances éventuelles sont montés dans un châssis installé à distance. Ce type de disposition est généralement utilisé lorsqu'il y a un problème de place ou pour permettre une meilleure dissipation de la chaleur.

Il est important de noter que les constituants d'un équipement de correction de facteur de puissance tels que les fusibles, les condensateurs, les inductances, etc. génèrent une quantité de chaleur importante.

5.3.4 Cloisonnement

La disposition générale d'un ensemble de correction du facteur de puissance peut être réalisée avec plusieurs colonnes, qui peuvent être arrangées en compartiments séparés ou dans une configuration unique:

- a) jeu de barres, raccordement principal et/ou isolation principale;
- b) fusibles de la batterie de condensateurs ou disjoncteurs et/ou contacteurs;
- c) inductances pour contrôle des harmoniques;
- d) condensateurs;
- e) fusibles de commande, bornes et régulateur.

5.3.5 Choix de la tension assignée

La tension assignée du condensateur doit être au moins égale à la tension de service du réseau auquel le condensateur doit être raccordé, compte tenu de l'influence de la présence du condensateur lui-même.

Sur certains réseaux, il peut exister une différence importante entre la tension de service et la tension assignée. Il convient que ces précisions soient fournies par l'acheteur de façon à permettre au fabricant d'en tenir opportunément compte. Il s'agit là d'un point important pour les condensateurs, leur performance et leur durée de vie pouvant se trouver affectées par l'augmentation excessive de la tension appliquée au diélectrique du condensateur.

Sauf indication contraire, la tension de service doit être considérée comme égale à la tension assignée (ou déclarée) du réseau.

Lorsque des éléments de circuit sont montés en série avec le condensateur afin de réduire les effets des harmoniques, etc., l'augmentation correspondante de la tension aux bornes du condensateur par rapport à la tension de service du réseau exige une augmentation équivalente de la tension assignée du condensateur.

Lors de la détermination de la tension à prévoir aux bornes du condensateur, les considérations suivantes doivent être prises en compte:

- a) Les condensateurs shunt peuvent produire une augmentation de la tension depuis la source jusqu'au point où ils se trouvent (voir Annexe D); cette augmentation de tension peut être même plus importante en présence d'harmoniques. En conséquence, les condensateurs peuvent être amenés à fonctionner à une tension supérieure à la tension mesurée avant leur raccordement.
- b) La tension aux bornes du condensateur peut être particulièrement élevée aux périodes de faible charge (voir Annexe D); dans ce cas, il convient qu'une partie des condensateurs ou tous les condensateurs soient mis hors service de façon à leur éviter des contraintes excessives ainsi qu'une augmentation indésirable de la tension du réseau.

Il convient de ne faire fonctionner les condensateurs dans des conditions correspondant à la fois à la tension maximale admissible et à la température ambiante maximale que dans des cas exceptionnels, et pendant des périodes de courte durée.

NOTE 1 Il convient d'éviter une trop grande marge de sécurité dans le choix de la tension assignée U_N car il en résulterait une diminution de la puissance par rapport à la puissance assignée.

NOTE 2 Voir la CEI 60831-1 en ce qui concerne la tension maximale admissible.

The capacitors and the required reactors, if any, are mounted on a remote mounting rack. This arrangement is generally used if there is a problem with space requirements or to allow further dissipation of heat.

It is important to note that power factor component equipment such as fuses, capacitors, reactors, etc. generate a significant amount of heat.

5.3.4 Compartmentalization

The general arrangement of a power factor correction assembly can be made in sections, which can be arranged in separate compartments or in a single configuration:

- a) bus bar, main connection and/or main isolation;
- b) capacitor bank fuses or circuit-breakers and/or contactors;
- c) reactors for harmonic control purposes;
- d) capacitors;
- e) control fuses, terminals and controller.

5.3.5 Choice of rated voltage

The rated voltage of the capacitor shall be at least equal to the service voltage of the network to which the capacitor is to be connected, account being taken of the influence of the presence of the capacitor itself.

In certain networks, a considerable difference may exist between the service and rated voltage of the network, details of which should be furnished by the purchaser, so that due allowance can be made by the manufacturer. This is of importance for capacitor banks, since their performance and life may be adversely affected by an undue increase of the voltage across the capacitor dielectric.

If no information to the contrary is available, the service voltage shall be assumed as equal to the rated (or declared) voltage of the network.

Where circuit elements are inserted in series with the capacitor to reduce the effects of harmonics, etc., the resultant increase in voltage at the capacitor terminals over and above the service voltage of the network necessitates a corresponding increase in the rated voltage of the capacitor.

When determining the voltage to be expected on the capacitor terminals, the following considerations shall be taken into account:

- a) Shunt-connected capacitors may cause a voltage rise from the source to the point where they are located (see Annex D); this voltage rise may be greater due to the presence of harmonics. Capacitors are therefore liable to operate at a higher voltage than that measured before connecting the capacitors.
- b) The voltage on the capacitor terminals may be particularly high at times of light load conditions (see Annex D); in such cases, some or all of the capacitors should be switched out of circuit in order to prevent overstressing of the capacitors and undue voltage increase in the network.

Only in case of emergency should capacitors be operated at maximum permissible voltage and maximum ambient temperature simultaneously, and then only for short periods of time.

NOTE 1 An excessive safety margin in the choice of the rated voltage U_N should be avoided, because this would result in a decrease of output when compared with the rated output.

NOTE 2 See IEC 60831-1 concerning maximum permissible voltage.

5.3.6 Conditions spéciales de service

En plus des conditions prédominantes aux deux limites de la catégorie de température, les conditions les plus importantes dont le fabricant doit être informé sont les suivantes:

a) Humidité relative élevée

Il peut être nécessaire d'utiliser des isolateurs spéciaux. L'attention est attirée sur la possibilité de shunter des fusibles externes par suite d'une condensation d'humidité à leur surface.

b) Développement rapide des moisissures

Les moisissures ne se développent pas sur les métaux, les matières céramiques et sur certains types de peintures et de laques. Pour d'autres matériaux, les moisissures peuvent se former aux endroits humides, surtout là où la poussière ou d'autres impuretés peuvent se déposer.

L'emploi de produits fongicides peut améliorer le comportement de ces matériaux mais ils ne conservent pas leurs propriétés protectrices au-delà d'un certain temps.

c) Atmosphère corrosive

Une atmosphère corrosive existe dans les zones industrielles et les zones côtières. Il y a lieu de remarquer que l'influence de cette atmosphère peut être plus sévère dans les climats à température élevée que dans les climats tempérés. Une atmosphère très corrosive peut être présente même dans les installations intérieures.

d) Pollution

Lorsque les condensateurs sont installés sur un emplacement très pollué, des précautions spéciales doivent être prises.

e) Altitude dépassant 2 000 m

Les condensateurs utilisés à des altitudes dépassant 2 000 m sont soumis à des conditions spéciales. Il convient d'effectuer le choix du type d'un commun accord entre l'acheteur et le fabricant.

5.3.7 Connexions et protection de surcharge

Les capacités de surcharge des condensateurs sont définies dans la CEI 60831-1 et dans la CEI 60931-1. Ces limites sont cependant plus élevées que celles applicables aux batteries. Les appareils de coupure et de protection et les raccordements doivent être conçus pour supporter un courant égal au moins à 1,3 fois le courant correspondant à une tension sinusoïdale de valeur efficace égale à la tension assignée à la fréquence assignée.

Les appareils de coupure et de protection et les raccordements doivent pouvoir supporter les contraintes électrodynamiques et thermiques engendrées par les surintensités transitoires de courant de grande amplitude et de fréquence élevée, qui peuvent se produire au moment de la mise sous tension.

Ces effets transitoires peuvent se produire lorsqu'une batterie ou un gradin est connecté en parallèle avec d'autres déjà sous tension. Il est de pratique courante d'augmenter l'inductance des connexions de manière à réduire les transitoires à l'enclenchement bien que cela entraîne une augmentation des pertes totales. Il convient de veiller à ne pas dépasser le courant transitoire maximal admissible des condensateurs et des appareils de coupure.

Quand l'étude des contraintes électrodynamiques et thermiques risque d'entraîner des exigences de dimensionnement excessives, il convient de prendre des précautions spéciales, telles que celles mentionnées dans la CEI 60831-1 pour la protection contre les surintensités.

NOTE 1 Dans certains cas, par exemple, lorsque les condensateurs sont à commande automatique, des opérations répétées de mise en et hors circuit peuvent intervenir à des intervalles de temps relativement courts. Il convient de choisir l'appareillage et les fusibles en conséquence.

NOTE 2 Les appareils de manœuvre connectés au jeu de barres auquel est également reliée une batterie de condensateurs peuvent être soumis à des contraintes particulières en cas de fermeture sur court-circuit.

5.3.6 Special service conditions

Apart from the conditions prevailing at both limits of the temperature category, the most important conditions about which the manufacturer shall be informed are the following:

a) High relative humidity

It may be necessary to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces.

b) Rapid mould growth

Mould growth does not develop on metals, ceramic materials and certain kinds of paints or lacquers. For other materials, mould growth may develop in humid places, especially where dust, etc. can settle.

The use of fungicidal products may improve the behaviour of these materials, but such products do not retain their poisoning property for more than a certain period.

c) Corrosive atmosphere

Corrosive atmosphere is found in industrial and coastal areas. It should be noted that in climates of higher temperature the effects of such atmosphere might be more severe than in temperate climates. Highly corrosive atmosphere may be present even in indoor installations.

d) Pollution

When capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, special precautions shall be taken.

e) Altitude exceeding 2000 m

Capacitors used at altitudes exceeding 2000 m are subject to special conditions. Choice of type of capacitor should be made by agreement between purchaser and manufacturer.

5.3.7 Switching and overload protection

Capacitor overload capacities are given in IEC 60831-1 and in IEC 60931-1. These limits are however larger than the ones applicable for the banks. The switching and protective devices and the connections shall be designed to carry continuously a current of at least 1,3 times the current that would be obtained with a sinusoidal voltage of an r.m.s. value equal to the rated voltage at the rated frequency.

The switching and protective devices and the connections shall also be capable of withstanding the electrodynamic and thermal stresses caused by the transient overcurrents of high amplitude and frequency that may occur when switching on.

Such transients are to be expected when a bank or a step is switched in parallel with others that are already energized. It is common practice to increase the inductance of the connections in order to reduce switching current, although this increases the total losses. Care should be taken not to exceed the maximum permissible switching current of capacitors and switching devices.

When consideration of electrodynamic and thermal stresses runs the risk of leading to excessive dimensions, special precautions, such as those mentioned in IEC 60831-1 for the purpose of protection against overcurrents, should be taken.

NOTE 1 In certain cases, for example when the banks are automatically controlled, repeated switching operations may occur at relatively short intervals of time. Switchgear and fuses should be selected to withstand these conditions.

NOTE 2 Switching devices connected to a busbar which is also connected to a bank, may be subjected to special stress in the event of switching on a short-circuit.

NOTE 3 Il convient que les appareils de manœuvre pour la commutation des batteries en parallèle et leur équipement de protection associé soient capables de résister au courant d'appel (amplitude et fréquence) qui se produit lorsqu'une batterie est raccordée à un jeu de barres auquel une ou d'autres batteries sont déjà raccordées.

Il est recommandé de protéger les condensateurs contre les surintensités à l'aide de relais à maximum d'intensité adéquats, réglés de façon à commander des disjoncteurs lorsque le courant dépasse la limite admissible spécifiée dans la CEI 60831-1 et dans la CEI 60931-1. En général, les fusibles ne fournissent pas une protection suffisante contre les surintensités.

NOTE 4 Selon leur conception, la capacité des condensateurs varie plus ou moins en fonction de la température.

En cas d'utilisation de bobines d'inductance à noyau de fer, il est bon de veiller à la saturation éventuelle et à l'échauffement du noyau par les harmoniques.

Tout mauvais contact des circuits dans la batterie de condensateurs peut provoquer de petites étincelles créant des oscillations à haute fréquence susceptibles d'échauffer et de surcharger les condensateurs. L'inspection de tous les contacts de l'équipement à intervalles réguliers est en conséquence recommandée.

5.3.8 Désignation internationale du degré de protection (IP)

La plupart des tableaux sont installés dans des locaux électriques ou accolés aux tableaux généraux: dans ces conditions, un degré de protection IP20 peut être suffisant. Il convient que d'autres degrés de protection fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

Le degré de protection (code IP) pour des ensembles destinés à être utilisés à l'extérieur peut être augmenté jusqu'au niveau IP54. Une attention particulière doit être apportée à la conception du système de ventilation de l'armoire.

5.3.9 Accessibilité des constituants

L'armoire et l'appareillage doivent être arrangés de telle sorte qu'en cas de défaillance des constituants, ceux-ci puissent être facilement remplacés.

Il convient que la disposition du câblage vers le ou les condensateurs facilite les vérifications régulières de maintenance.

5.4 Installation et exploitation

5.4.1 Environnement électrique

5.4.1.1 Harmoniques

Le raccordement d'un équipement de correction du facteur de puissance à un réseau qui comporte des harmoniques peut réduire la durée de vie de l'équipement. Les effets préjudiciables des harmoniques peuvent être réduits par l'utilisation d'inductances anti-harmoniques adaptées en série avec chaque gradin de condensateurs.

5.4.1.2 Surtensions transitoires

Il convient que les surtensions transitoires soient évitées. Si l'appareillage de coupure est choisi comme étant explicitement recommandé pour une utilisation avec des condensateurs, ce problème ne devrait pas apparaître. Cependant, l'appareillage se détériore avec le temps et il convient que les contacts usés soient remplacés lors des vérifications régulières de maintenance.

5.4.1.3 Évaluation de la charge

Le choix de la localisation de la compensation du facteur de puissance dépend d'un certain nombre de facteurs y compris le coût et la place disponible:

- a) déterminer où sont situées les charges avec un facteur de puissance bas: la compensation peut être localisée en ces points;

NOTE 3 Devices for switching parallel steps and their associated protective equipment should be able to withstand the inrush current (amplitude and frequency) resulting when one bank is connected to a busbar to which other bank(s) are already connected.

It is recommended that capacitors be protected against overcurrent by means of suitable overcurrent relays, which are adjustable to operate the switching devices when the current exceeds the permissible limit specified in IEC 60831-1 and IEC 60931-1. Fuses do not generally provide suitable overcurrent protection.

NOTE 4 Depending on the design of capacitors, their capacitance will vary more or less with the temperature.

If iron-core reactors are used, attention should be paid to possible saturation and overheating of the core by harmonics.

Any bad contacts in capacitor circuits may give rise to arcing, causing high-frequency oscillations that may overheat and overstress the capacitors. Regular inspection of all capacitor equipment contacts is therefore recommended.

5.3.8 International protection designation (IP)

Most panels are installed in main switch rooms or adjacent to main boards: in these conditions, IP20 may be sufficient. Other IP levels should be agreed between manufacturer and purchaser.

Degrees of protection (IP rating) for assemblies to be installed outdoor may be increased up to IP54. Careful consideration is to be paid to the design of the ventilation of the cubicle.

5.3.9 Accessibility of components

The cubicle and equipment shall be arranged so that in the event of a component failure, components can be easily replaced.

The arrangement of cabling to the capacitor(s) should allow easy regular maintenance checks.

5.4 Installation and operation

5.4.1 Electrical environment

5.4.1.1 Harmonics

The connection of PFC (power factor correction) equipment onto a system containing harmonics may reduce the life of the PFC equipment. The damaging effects of harmonics can be mitigated by the use of a suitable detuning reactor in series with each capacitor step.

5.4.1.2 Voltage spikes

Voltage spikes should be avoided. If switching components are selected which are specifically recommended for capacitor applications, the problem should not arise. Nevertheless, equipment does deteriorate with time and worn contacts should be replaced during regular maintenance checks.

5.4.1.3 Load assessment

The decision of where to apply the power factor correction is determined by a number of factors, including cost and available space:

- a) determine where the loads with the low power factor are situated: the PFC can be located at these points;

- b) en général, il est plus pratique de localiser la compensation au niveau du tableau général où de la place est disponible. Dans ce cas, l'équipement compensera le facteur de puissance de l'ensemble des charges et la maintenance de l'équipement se fera dans un seul endroit.

5.4.2 Effets secondaires d'un système de compensation du facteur de puissance

5.4.2.1 Distorsion harmonique

Le raccordement d'un équipement de compensation à un réseau qui comporte des générateurs d'harmoniques entraînera généralement une augmentation des harmoniques à moins que des inductances anti-harmoniques adaptées ne soient placées en série avec chaque gradin de condensateurs.

L'augmentation des harmoniques a pour effet non seulement de réduire la durée de vie des condensateurs mais peut aussi causer des problèmes à d'autres appareils électriques et électroniques du réseau.

5.4.2.2 Atténuation des signaux de télécommande centralisée

Les signaux de télécommande centralisée sont émis par les distributeurs d'électricité pour la commande et la commutation des charges en heures creuses (par exemple les chauffe-eau, l'éclairage public, etc.).

Si l'équipement de compensation entraîne un affaiblissement important du signal à fréquence acoustique, l'impédance à cette fréquence peut être augmentée en raccordant des circuits bouchon en série avec les condensateurs, ce qui évitera les interférences avec le système de télécommande centralisée du distributeur d'électricité.

5.4.2.3 Augmentation de la température ambiante

Un équipement de compensation génère de la chaleur à cause des pertes dans les condensateurs, les inductances, les résistances, les bobines, etc. Cette chaleur contribue à augmenter la température ambiante dans l'espace environnant. Il convient de s'assurer que le local d'exploitation soit suffisamment ventilé afin de maintenir une bonne circulation d'air autour de la batterie de compensation.

5.4.3 Surtensions

La CEI 60831-1 et la CEI 60931-1 spécifient les facteurs de surtension.

Après accord avec le fabricant, le facteur de surtension peut être augmenté, si le nombre des surtensions estimé est plus faible, ou si les conditions de température sont moins sévères. Ces limites de surtension à fréquence industrielle sont valables, à condition que des surtensions transitoires ne leur soient pas superposées. La tension de crête ne doit pas excéder $\sqrt{2}$ fois la valeur efficace indiquée.

Il convient que les batteries de condensateurs qui sont susceptibles d'être exposées à de fortes surtensions dues à la foudre, soient protégées convenablement.

5.4.4 Courants de surcharge

Avant de commander un équipement de compensation, il convient d'apporter une grande attention à la vérification des conditions du réseau à l'endroit de l'installation (par exemple la présence de distorsion harmonique ou l'utilisation de télécommande à fréquence acoustique).

Il convient que les condensateurs ne fonctionnent jamais à des courants supérieurs à la valeur maximale spécifiée dans la CEI 60831-1 ou dans la CEI 60931-1.

- b) generally, it is more practical to locate PFC at the main switchboard, where space is available. In this case, the PFC will correct the power factor of the whole load and maintenance of the PFC is in one location.

5.4.2 Secondary effects of the PFC system

5.4.2.1 Harmonic distortion

PFC equipment when connected onto a system where harmonics are being generated will generally increase the amplitude of the harmonics, unless a well suited detuning reactor is placed in series with each capacitor step.

The increase in harmonics will not only affect the life of the capacitors but could cause problems with other electric and electronic equipment in the system.

5.4.2.2 Attenuation of injected ripple control signal

Ripple control signals are provided by electricity authorities for the control and switching of off-peak loads (e.g. hot water heaters, street lighting, etc.).

If the PFC equipment causes significant loss of the audio frequency signal, the impedance to the frequency may be increased by connecting rejection or stopper circuits in series to the capacitors units, which will prevent interference to the frequency injection control system of the electricity authority concerned.

5.4.2.3 Rise of ambient temperature

PFC equipment produces heat from the losses developed in capacitors, reactors, resistors, coils, etc. This heat adds to the ambient temperature in the surrounding area. It is important to ensure that adequate ventilation is provided in the operating room in order to maintain good air circulation around the PFC unit.

5.4.3 Overvoltages

IEC 60831-1 and IEC 60931-1 specify overvoltage factors.

With the manufacturer's agreement, the overvoltage factor may be increased if the estimated number of overvoltages is lower, or if the temperature conditions are less severe. These power-frequency overvoltage limits are valid, provided that transient overvoltages are not superimposed on them. The peak voltage shall not exceed $\sqrt{2}$ times the given r.m.s. value.

Capacitor banks that are liable to be subjected to high overvoltages due to lightning should be adequately protected.

5.4.4 Overload currents

Before ordering PFC equipment, consideration should be given to checking the conditions in the system at the place of installation (for instance, presence of harmonic distortion, or use of ripple control frequencies).

Capacitors should never be operated with currents exceeding the maximum value specified in IEC 60831-1 or IEC 60931-1.

Les courants de surcharge peuvent être produits soit par une tension excessive à la fréquence fondamentale, soit par des harmoniques, soit par les deux. Les sources les plus importantes d'harmoniques sont les redresseurs, l'électronique de puissance et les circuits magnétiques des transformateurs saturés.

Si l'élévation de la tension aux périodes de faible charge est accrue par les condensateurs, la saturation des circuits magnétiques des transformateurs peut être considérable. Dans ce cas, il se produit des harmoniques d'amplitude anormale, dont l'un peut être amplifié par la résonance entre le transformateur et le condensateur. C'est là une raison de plus pour recommander la mise hors service des condensateurs aux périodes de faible charge.

Si le courant du condensateur dépasse la valeur maximale spécifiée dans la CEI 60831-1, alors que la tension ne dépasse pas la limite admissible de $1,10 U_N$ spécifiée dans la CEI 60831-1, il convient de déterminer l'harmonique prédominant de manière à trouver la meilleure façon de remédier à cette situation.

Il convient de considérer les solutions suivantes:

- a) déplacer une partie ou la totalité des condensateurs en d'autres points du réseau alimentés par un autre transformateur;
- b) monter une bobine d'inductance en série avec le condensateur afin d'abaisser la fréquence de résonance du circuit jusqu'à une valeur inférieure à celle de l'harmonique perturbateur.

Il convient de déterminer la forme d'onde de la tension et les caractéristiques du réseau avant et après l'installation du condensateur. Lorsqu'il existe des sources d'harmoniques telles que de l'électronique de puissance, il convient de prendre des précautions spéciales.

Des surintensités transitoires de grande amplitude à haute fréquence peuvent se produire lorsque les condensateurs sont mis en service. Il y a lieu de s'attendre à de tels régimes transitoires lorsqu'une fraction (ou un gradin) de batterie de condensateurs est connectée en parallèle avec d'autres fractions déjà sous tension (voir l'Annexe D).

Il peut être nécessaire de ramener ces surintensités transitoires de courant à des valeurs acceptables pour les condensateurs et l'appareillage en mettant en service les condensateurs par l'intermédiaire d'une résistance (commutation par résistance) ou en introduisant des bobines d'inductance dans le circuit d'alimentation de chaque fraction de la batterie.

La valeur de crête des surintensités transitoires dues aux manœuvres doit être limitée à un maximum de $100 I_N$ (valeur efficace) ou au courant maximal admissible des contacteurs si celui-ci est inférieur.

5.5 Sécurité

5.5.1 Dispositifs de décharge

Il convient que chaque batterie de condensateur ou chaque gradin soit pourvue de dispositifs pour décharger la batterie après déconnexion du réseau.

Les durées de décharge spécifiées peuvent être obtenues en utilisant des résistances de décharge internes (incorporées) dans chaque condensateur, ou des dispositifs de décharge externes dimensionnés pour l'ensemble de l'équipement de condensateurs.

Avant de toucher une quelconque partie active, attendre au moins 5 min pour que la batterie s'autodécharge et ensuite mettre en court-circuit les bornes de chaque condensateur et les mettre à la terre.

Overload currents may be caused either by excessive voltage at the fundamental frequency, or by harmonics, or both. The chief sources of harmonics are rectifiers, power electronics and saturated transformer cores.

If the voltage rise at times of light load is increased by capacitors, the saturation of transformer cores may be considerable. In this case, harmonics of abnormal magnitude are produced, one of which may be amplified by resonance between the transformer and capacitor. This is a further reason for recommending the disconnection of capacitor banks at times of light load.

If the capacitor current exceeds the maximum value specified in IEC 60831-1, while the voltage is within the permissible limit of $1,10 U_N$ specified in IEC 60831-1, the predominant harmonic should be determined in order to find the best remedy.

The following remedies should be considered:

- a) move some or all of the capacitor units to other parts of the system fed by another transformer;
- b) connect a reactor in series with the capacitor unit, to lower the resonant frequency of the circuit to a value below that of the disturbing harmonic.

The voltage waveform and the network characteristics should be determined before and after installing the capacitor bank. When sources of harmonics such as large power electronic devices are present, special care should be taken.

Transient overcurrents of high amplitude and frequency may occur when capacitors are switched on. Such transient effects are to be expected when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other steps that are already energized (see Annex D).

It may be necessary to reduce these transient overcurrents to acceptable values in relation to the capacitor unit and to the equipment by switching on the capacitors through a resistor (resistance switching), or by the insertion of reactors into the supply circuit of each section of the bank.

The peak value of the overcurrents due to switching operations shall be limited to a maximum of $100 I_N$ (r.m.s. value) or to the maximum capability of the contactors, whichever is the smaller.

5.5 Safety

5.5.1 Discharging devices

Each capacitor bank or step should be provided with means for discharging the bank after disconnection from the network.

The specified discharging times may be met by applying either internal (incorporated) discharge resistors on each capacitor or external discharge devices rated for the entire capacitor equipment.

Before touching any live parts, allow at least 5 min for the bank to self-discharge and then short-circuit each capacitor terminal together and ground.

5.5.1.1 Résistances internes

Des résistances internes sont en général intégrées dans les condensateurs individuels. Elles sont conçues pour assurer la décharge de chaque condensateur, et donc celle de toute la batterie. Dans une batterie de condensateurs avec plusieurs sections de condensateurs en série, la tension résiduelle aux bornes de la batterie est égale à la somme des tensions résiduelles de chaque section.

5.5.1.2 Dispositifs de décharge externes

Des dispositifs de décharge externes peuvent être utilisés. Il convient que chaque dispositif soit adapté aux conditions existant sur le lieu d'implantation de l'équipement et qu'il ait une distance d'isolement, une ligne de fuite et un niveau d'isolement appropriés. Si les condensateurs n'ont pas de résistances de décharge internes, il convient qu'il n'y ait pas de dispositif d'isolement entre la batterie de condensateurs et le dispositif de décharge.

Des réactances de décharge peuvent être utilisées, connectées directement en parallèle avec les batteries de condensateurs. Habituellement deux réactances sont connectées entre phases pour des raisons économiques. En fonctionnement normal, seul le courant magnétisant traverse la réactance. Lorsque l'équipement de condensateurs est déconnecté, toute l'énergie emmagasinée s'écoule dans la bobine en quelques secondes. La majeure partie de l'énergie est dissipée dans la réactance. Il convient de limiter le nombre de décharges par unité de temps de manière telle qu'aucune surchauffe de la réactance ne se produise.

Les enroulements de transformateurs ou de moteurs sont considérés comme des impédances de décharges convenables, de même que le primaire des transformateurs de tension.

5.5.2 Décharge après déconnexion

Il convient que l'équipement de condensateurs déconnecté s'autodécharge complètement, quel que soit l'emplacement du dispositif de décharge, que celui-ci soit directement placé sur chaque condensateur ou aux bornes de l'équipement.

Toutefois, un équipement de condensateurs avec des connexions en série ou en étoile, dans lequel il y a eu des claquages d'éléments ou des amorçages internes ou externes, peut ne pas être déchargé complètement par un dispositif de décharge connecté aux bornes de l'équipement du condensateur. Bien qu'il n'y ait pas de tension mesurable aux bornes de l'équipement, il peut y avoir, dans l'équipement de condensateur, une quantité dangereuse d'énergie stockée. Celles-ci, dénommées «charges piégées» peuvent persister pendant une période de quelques mois et ne peuvent être déchargées que par une décharge individuelle de chaque section de la batterie.

Il est important de noter qu'un dispositif de décharge ne peut se substituer à la mise en court-circuit et à la terre des bornes avant et pendant la manutention.

5.5.3 Risque de feu en cas de défaut

Les condensateurs contiennent des matériaux inflammables comme du film diélectrique et/ou du papier, de l'huile, etc. Il convient que la batterie soit disposée en prenant en considération un possible risque de feu en cas de défaut d'un constituant. Les deux zones à considérer sont:

- a) Les espaces voisins des condensateurs. Les condensateurs sont normalement fabriqués en boîtiers métalliques ou sont installés dans une colonne métallique séparée ou sont séparés des autres constituants par des écrans métalliques. Il convient que les câbles de puissance et de commande dans ces zones soient réduits au minimum et disposés avec précaution en évitant le contact direct avec les boîtiers de condensateurs.
- b) Les espaces autour des inductances. Lorsque des inductances (d'amortissement ou de filtrage) sont installées, il convient que les câbles de puissance et de commande soient réduits au minimum autour de ces constituants ou, pour le moins, il convient que les câbles soient maintenus écartés des noyaux en acier laminé de ces constituants.

5.5.1.1 Internal resistors

Internal resistors are generally built into the individual capacitors. They are designed to ensure the discharge of each capacitor and therefore the whole bank. In a bank with several sections of capacitors in series, the residual voltage on the bank terminal is equal to the sum of the residual voltage in each section.

5.5.1.2 External discharge devices

External discharge devices may be used. Each device should be adapted to the conditions existing at the site of erection of the equipment and have suitable strike distance, creepage path and insulation level. If the capacitors have no internal discharge resistors, there should be no isolating device between the capacitor bank and the discharge device.

Discharge reactors may be used, connected directly in parallel with the capacitor steps. Usually, two reactors are connected line-to-line across two phases because of economical reasons. Under operating conditions, only the magnetizing current flows in the reactor. When the capacitor equipment is switched off, all the energy stored circulates through the coil in a few seconds. Most of the energy is dissipated in the reactor. The number of discharges per unit of time should be restricted so that no overheating of the discharge reactor occurs.

Windings of transformers or motors may be considered as suitable impedances as well as the primary of voltage transformers.

5.5.2 Discharging after disconnection

A disconnected capacitor installation should completely self-discharge no matter where the discharge device is located, be it directly at each capacitor or at the connecting terminals of the equipment.

However, a capacitor installation comprising series connections and star connections, which have undergone puncturing or internal or external arcing, may not be discharged completely through discharge devices connected to the terminals of the capacitor installation. Although there is no voltage measurable at the equipment terminals, dangerous amounts of stored energy may exist in the bank. These so-called “trapped charges” may persist over a period of several months and can only be discharged by individual discharging of each section of the bank.

It is important to note that a discharging device is not a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to ground before and during handling.

5.5.3 Fire hazard in case of failure

Capacitors contain flammable materials, i.e. dielectric film and/or paper, oil, etc. The bank should be arranged with consideration of a possible fire hazard in case of a failure of a component. The two areas to be considered are as follows:

- a) Adjacent areas to the capacitors. Normally capacitors are manufactured in metal cans or are installed in a segregated metal section or separated from other components by metal barriers. Power and control cables in these areas should be kept to a minimum and carefully cabled, so as to avoid direct contact to capacitor cases.
- b) Adjacent areas around the reactors. Where reactors (chokes and filters) are installed, power and control cables should be kept to a minimum around these components or at least supported away from the laminated steel cores of these components.

5.5.4 Dommages aux personnes et aux biens

Il convient que la disposition des constituants dans l'ensemble soit telle que, lors des interventions de maintenance, le personnel ne risque pas d'être soumis à des arcs accidentels. Un condensateur de 50 kvar peut développer un arc de coupure important si les fusibles sont enlevés sans avoir au préalable isolé la batterie au moyen de l'appareil de commande.

Il en est de même si un fusible est inséré alors que la continuité du circuit existe.

5.5.5 Jeu de barres

Le jeu de barres d'un ensemble de correction de facteur de puissance doit supporter au minimum les courants de défaut du réseau au point où il doit être raccordé. Ces ensembles sont habituellement raccordés à une partie de l'installation principale où les courants de défauts sont particulièrement élevés.

Si le fabricant spécifie l'utilisation d'un appareil limiteur de courant au point de raccordement de l'équipement, l'essai de tenue doit être effectué avec ce type d'appareil raccordé dans le circuit.

5.5.6 Raccordement des équipements

Le jeu de barres dans ces ensembles doit être disposé de telle sorte que les câbles ou les barres qui doivent être raccordés et prolongées vers l'installation aient un espace suffisant. Si des câbles sont utilisés pour ce raccordement, ils sont habituellement de fortes sections et doivent être dimensionnés pour supporter le courant assigné prescrit et le courant de défaut du réseau.

6 Compatibilité électromagnétique

Les articles appropriés des normes concernant les condensateurs (voir Article 2, Références normatives) s'appliquent avec les ajouts suivants.

6.1 Emission

Dans les conditions normales de service, les condensateurs de puissance n'engendrent pas de perturbations électromagnétiques. Des perturbations électromagnétiques peuvent être générées par les ensembles seulement pendant les manœuvres (mise sous tension ou hors tension) et sont limitées à des surtensions de manœuvre dont la durée est mesurée en millisecondes. Si le régulateur fonctionne de façon à limiter le nombre de manœuvres à une valeur ne dépassant pas 5/min, les prescriptions relatives aux émissions électromagnétiques sont supposées être satisfaites et aucune vérification n'est nécessaire.

6.2 Immunité

Les ensembles n'incorporant pas de circuits électroniques ne sont pas sensibles aux perturbations électromagnétiques normales et, en conséquence, ne nécessitent pas d'essais d'immunité.

6.3 Ensembles incorporant des équipements électroniques

Les équipements électroniques, comme le régulateur, incorporés dans les ensembles doivent être conformes aux prescriptions d'immunité et d'émission de la norme ou des normes CEI appropriées.

5.5.4 Human and property damage

The manufacture of the assembly should have components arranged in a manner so that when carrying out maintenance, personnel are not subject to accidental arcing faults. Capacitors with a rating of, say, 50 kvar, will develop quite a heavily interrupting arc if fuses are extracted without first isolating the bank via the controlling device.

The same will apply if the fuse is inserted while the continuity of the circuit is present.

5.5.5 Busbar

The bus bar section of power factor assemblies shall withstand, as a minimum, the fault currents of the system at the point where it is intended to be connected. Usually, these assemblies are connected onto a section of the main installation where the fault currents are quite high.

If the manufacturer specifies a current-limiting device at the connection point of the equipment, the withstand test shall be carried out with this type of device connected in the circuit.

5.5.6 Connection of systems

The bus bar system in these assemblies shall be arranged so that cables or bus bars to be connected and extended to the installation have sufficient area for take-off. If cables are used for this extension, they are usually of a large cross-sectional area and shall be of a suitable size to take the required rated current and fault current of the system.

6 Electromagnetic compatibility

The relevant clauses of the standards concerning capacitors (see Clause 2, Normative references) apply with the following additions.

6.1 Emission

Under normal service conditions, power capacitors do not produce any electromagnetic disturbance. Electromagnetic disturbances can only be generated by assemblies during switching operations (connection or disconnection of steps) and are limited to switching overvoltages, the duration of which is measured in milliseconds. If the controller is regulated so as to limit the number of switching operations to not more than 5/min, the requirements of electromagnetic emission are deemed to be satisfied and no verification is necessary.

6.2 Immunity

Assemblies not incorporating electronic equipment are not sensitive to normal electromagnetic disturbances, and therefore no immunity tests are required.

6.3 Assemblies incorporating electronic equipment

Electronic equipment (i.e. the controller) incorporated in assemblies shall comply with the immunity and emission requirements of the relevant IEC standard(s).

7 Essais

7.1 Classification des essais

Les essais destinés à vérifier les caractéristiques d'un ensemble comprennent:

- a) des essais de type (voir 7.1.1 et 7.2)
- b) des essais individuels (voir 7.1.2 et 7.3)

Le constructeur doit, sur demande, préciser les bases de ces vérifications.

NOTE Pour les vérifications et les essais à effectuer sur les ES et les EDS, voir la CEI 60439-1.

7.1.1 Essais de type (voir 7.2)

Les essais de type sont destinés à vérifier la conformité aux prescriptions indiquées dans la présente norme pour un type donné d'ensemble.

Les essais de type doivent être effectués sur un échantillon d'un tel ensemble ou sur des parties d'ensemble fabriquées selon une conception identique ou similaire sous la responsabilité du fabricant.

Les essais de type comprennent:

- a) la vérification des limites d'échauffement (voir 7.2.1) ;
- b) la vérification des propriétés diélectriques (voir 7.2.2) ;
- c) la vérification de la tenue aux courts-circuits (voir 7.2.3) ;
- d) la vérification de l'efficacité du circuit de protection (voir 7.2.4) ;
- e) la vérification des distances d'isolement et des lignes de fuite (voir 7.2.5) ;
- f) la vérification du fonctionnement mécanique (voir 7.2.6) ;
- g) la vérification du degré de protection (voir 7.2.7).

Ces essais peuvent être effectués dans n'importe quel ordre et/ou sur différents échantillons du même type.

Si des modifications sont apportées aux constituants de l'ensemble, de nouveaux essais de type ne doivent être effectués que dans la mesure où de telles modifications sont de nature à affecter d'une manière défavorable les résultats de ces essais.

7.1.2 Essais individuels (voir 7.3)

Les essais individuels sont destinés à détecter les défauts affectant les matériaux et la fabrication. Ils doivent être effectués sur tout nouvel ensemble après son montage ou sur chaque unité de transport (voir la CEI 60439-1). Un autre essai individuel sur le lieu d'installation n'est pas nécessaire.

Les ensembles qui sont montés à partir de constituants normalisés en dehors des ateliers du fabricant de ces constituants, en utilisant exclusivement des pièces et des accessoires spécifiés ou fournis par le fabricant dans ce but, doivent être soumis à des essais individuels par l'établissement qui a assemblé l'ensemble.

7 Tests

7.1 Classification of tests

The tests to verify the characteristics of an assembly include:

- a) type tests (see 7.1.1 and 7.2);
- b) routine tests (see 7.1.2 and 7.3).

The manufacturer shall, on request, specify the basis for the verifications.

NOTE For verifications and tests to be performed on TTA and PTTA, see IEC 60439-1.

7.1.1 Type tests (see 7.2)

Type tests are intended to verify compliance with the requirements laid down in this standard for a given type of assembly.

Type tests shall be carried out on a sample of an assembly or on parts of assemblies manufactured to the same, or similar design, and under the responsibility of the manufacturer.

Type tests include:

- a) verification of temperature-rise limits (see 7.2.1);
- b) verification of dielectric properties (see 7.2.2);
- c) verification of the short-circuit withstand strength (see 7.2.3);
- d) verification of the effectiveness of the protective circuit (see 7.2.4);
- e) verification of clearances and creepage distances (see 7.2.5);
- f) verification of mechanical operation (see 7.2.6);
- g) verification of the degree of protection (see 7.2.7).

These tests may be carried out in any order and/or on different samples of the same type.

If modifications are made to the components of the assembly, new type tests shall be carried out, but only in so far as such modifications are likely to adversely affect the result of these tests.

7.1.2 Routine tests (see 7.3)

Routine tests are intended to detect faults in materials and workmanship. They shall be carried out on every new assembly after its construction, or on each transport unit (see IEC 60439-1). Another routine test at the place of installation is not required.

Assemblies which are constructed from standardized components not coming from the manufacturer's workshop but making exclusive use of parts and accessories specified or supplied by the manufacturer, shall be routine tested by the firm which has constructed the assembly.

Les essais individuels comprennent:

- a) l'inspection de l'ensemble y compris l'inspection du câblage et, si cela est nécessaire, un essai de fonctionnement électrique (voir 7.3.1);
- b) un essai diélectrique (voir 7.3.2);
- c) une vérification des mesures de protection et de la continuité électrique du circuit de protection (voir 7.3.3);
- d) une vérification de la résistance d'isolement (voir 7.3.4).

Ces essais peuvent être effectués dans n'importe quel ordre.

NOTE Le fait que les essais individuels soient effectués dans les ateliers du constructeur ne libère pas l'établissement installant l'ensemble de l'obligation de vérifier celui-ci après son transport et son installation.

7.1.3 Essais des appareils et des constituants indépendants incorporés dans l'ensemble

Des essais de type et/ou des essais individuels ne sont pas exigés pour les appareils et les constituants indépendants incorporés dans l'ensemble lorsque ceux-ci ont été choisis conformément à 5.3.7 et installés conformément aux instructions du fabricant.

7.2 Essais de type

7.2.1 Vérification des limites d'échauffement

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1 avec les modifications suivantes:

Le courant de dimensionnement doit tenir compte des surintensités auxquelles les condensateurs sont naturellement sensibles, en considérant tout spécialement la présence d'inductances. En l'absence d'inductances ou d'autres dispositifs de contrôle du courant, le courant de dimensionnement ne doit pas être inférieur à 1,3 fois le courant assigné.

Quand une protection ou des systèmes de contrôle limitant le courant maximal sont fournis, le courant d'essai doit correspondre à ce courant maximal. Si aucun dispositif de limitation n'est fourni, le courant d'essai doit être de 1,2 fois le courant assigné.

Une méthode ou la combinaison des méthodes suivantes peut permettre d'obtenir le niveau du courant d'essai: augmenter la tension d'essai, augmenter la fréquence d'essai, augmenter la valeur du condensateur ou superposer des courants harmoniques.

7.2.2 Vérification des propriétés diélectriques

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.2.3 Vérification de la tenue aux courts-circuits

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.2.4 Vérification de l'efficacité du circuit de protection

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.2.5 Vérification des distances d'isolement et des lignes de fuite

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

Routine tests include:

- a) inspection of the assembly including inspection of wiring and, if necessary, an electrical operation test (see 7.3.1);
- b) dielectric test (see 7.3.2);
- c) checking of protective measures and of the electrical continuity of the protective circuit (see 7.3.3);
- d) verification of insulation resistance (see 7.3.4).

These tests may be carried out in any order.

NOTE The performance of the routine tests at the manufacturer's plant does not relieve the firm installing the assembly from the duty of checking it after transport and installation.

7.1.3 Testing of devices and self-contained components incorporated in the assembly

Type tests and/or routine tests are not required to be carried out on devices and self-contained components incorporated in the assembly when they have been selected in accordance with 5.3.7 and installed in accordance with the instructions of the manufacturer.

7.2 Type tests

7.2.1 Verification of temperature-rise limits

See the relevant clauses of IEC 60439-1 with the following modification:

The design current shall allow for overcurrents to which capacitors are inherently susceptible, taking special account of the presence of reactors. In the absence of any reactor or other current control device, the design current shall be no less than 1,3 times the rated current.

When protection or control systems are provided which limit the maximum current, then the test current shall correspond to this maximum current. If no such limiting device is provided, the test current shall be 1,2 times the rated current.

One (or a combination) of the following methods can obtain the test current level: increase the test voltage, increase the test frequency, increase the capacitor value or superimpose the harmonic current.

7.2.2 Verification of dielectric properties

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.2.3 Verification of short-circuit withstand strength

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.2.4 Verification of the effectiveness of the protection circuit

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.2.5 Verification of clearances and creepage distances

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.2.6 Vérification du fonctionnement mécanique

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.2.7 Vérification du degré de protection

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.3 Essais individuels

7.3.1 Inspection de l'ensemble y compris l'inspection du câblage et, si cela est nécessaire, un essai de fonctionnement électrique

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.3.2 Essai diélectrique

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.3.3 Vérification des mesures de protection et de la continuité électrique des circuits de protection

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.3.4 Vérification de la résistance d'isolement

Voir les articles appropriés de la CEI 60439-1.

7.2.6 Verification of mechanical operation

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.2.7 Verification of degree of protection

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.3 Routine tests

7.3.1 Inspection of the assembly including inspection of wiring and, if necessary, electrical operation test

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.3.2 Dielectric test

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.3.3 Verification of protective measures and of the electrical continuity of the protective circuits

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

7.3.4 Verification of insulation resistance

See the relevant clauses of IEC 60439-1.

Annexe A
(normative)

**Valeurs minimales et maximales des sections des conducteurs de cuivre
convenant aux raccordements**

Voir l'annexe appropriée de la CEI 60439-1.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61921:2003

Annex A
(normative)

**Minimum and maximum cross-sections of copper conductors
suitable for connections**

See the relevant annex of IEC 60439-1.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61921:2003

Annexe B
(normative)

**Méthode pour calculer la section des conducteurs de protection
sous l'aspect des contraintes thermiques causées
par les courants de courte durée**

Voir l'annexe appropriée de la CEI 60439-1.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61921:2003