

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA C.E.I.**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**I.E.C. RECOMMENDATION**

**Publication 143**

Première édition — First edition

1963

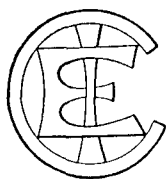
---

**Condensateurs-série destinés à être installés sur des réseaux**

---

**Series capacitors for power systems**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60143:1963

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA C.E.I.**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**I.E.C. RECOMMENDATION**

**Publication 143**

Première édition — First edition

1963

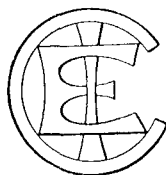
---

**Condensateurs-série destinés à être installés sur des réseaux**

---

**Series capacitors for power systems**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application . . . . .	6
2. Objet . . . . .	6
3. Terminologie . . . . .	6
SECTION DEUX — RÈGLES DE SÉCURITÉ	
4. Dispositifs de décharge . . . . .	10
5. Bornes de la cuve . . . . .	10
6. Autres prescriptions de sécurité . . . . .	10
SECTION TROIS — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS	
7. Nature des essais . . . . .	10
8. Capacité et puissance . . . . .	12
9. Mesures des pertes . . . . .	12
10. Essai de stabilité thermique . . . . .	12
11. Essais entre bornes . . . . .	14
12. Essais diélectriques entre bornes et cuve . . . . .	16
13. Tableaux des tensions d'essai entre bornes et terre . . . . .	18
SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES	
14. Plaque signalétique . . . . .	20
15. Surcharges admissibles . . . . .	22
SECTION CINQ — DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION	
16. Généralités . . . . .	22
17. Choix des tensions nominales . . . . .	24
18. Explications concernant les essais entre bornes de l'article 11 . . . . .	26
19. Tolérance de la capacité . . . . .	26
20. Température de service . . . . .	28
21. Appareillage de protection et de coupure . . . . .	28
22. Phénomènes perturbateurs éventuels . . . . .	30
ANNEXE — Prescriptions générales concernant les mesures de l'ionisation . . . . .	34

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
SECTION ONE — GENERAL	
Clause	
1. Scope . . . . .	7
2. Object . . . . .	7
3. Definitions . . . . .	7
SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS	
4. Discharge devices . . . . .	11
5. Container connection . . . . .	11
6. Other safety regulations . . . . .	11
SECTION THREE — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS	
7. Nature of tests . . . . .	11
8. Capacitance and output . . . . .	13
9. Capacitor losses . . . . .	13
10. Thermal stability test . . . . .	13
11. Tests between terminals . . . . .	15
12. Voltage tests between terminals and container . . . . .	17
13. Tables of test voltages between terminals and earth . . . . .	19
SECTION FOUR — RATINGS	
14. Nameplate . . . . .	21
15. Permissible overloads . . . . .	23
SECTION FIVE — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION	
16. General . . . . .	23
17. Choice of the rated voltages . . . . .	25
18. Explanations regarding the tests between terminals of Clause 11 . . . . .	27
19. Capacitance tolerance . . . . .	27
20. Operating temperature . . . . .	29
21. Protective and switching devices . . . . .	29
22. Possible disturbing phenomena . . . . .	31
APPENDIX — General requirements concerning ionization measurements . . . . .	35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CONDENSATEURS-SÉRIE DESTINÉS A ÊTRE INSTALLÉS  
SUR DES RÉSEAUX**

**PRÉAMBULE**

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C.E.I. exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C.E.I. dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

**PRÉFACE**

Les présentes recommandations ont été établies par le Comité d'Etudes n° 33 : Condensateurs de puissance.

Un premier projet fut discuté lors d'une réunion tenue à Philadelphie en 1954. D'autres projets furent discutés à des réunions tenues à Londres, en 1955, à Munich, en 1956, et à Paris, en 1958. A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1959.

Les observations reçues furent discutées lors d'une réunion tenue à Rapallo en 1960 et, à la suite de ces discussions, des modifications furent diffusées aux Comités nationaux pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois en mars 1961.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

Afrique du Sud	Italie
Allemagne	Japon
Autriche	Norvège
Belgique	Pays-Bas
Canada	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Suisse
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

### SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS

#### FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognised of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

#### PREFACE

These recommendations have been prepared by Technical Committee No. 33, Power Capacitors.

A first draft was discussed during a meeting held in Philadelphia in 1954. Further drafts were discussed at meetings held in London in 1955, Munich in 1956 and in Paris in 1958. As a result of this latter meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1959.

The comments received were discussed at the meeting held in Rapallo in 1960 and, as a result, amendments were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in March 1961.

The following countries voted explicitly in favour of publication :

Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Canada	Romania
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	United Kingdom
Italy	Union of Soviet Socialist Republics
Japan	United States of America

## CONDENSATEURS-SÉRIE DESTINÉS A ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX

### SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

#### 1. Domaine d'application

##### 1.1 Ces recommandations s'appliquent :

- a) aux condensateurs destinés à être raccordés en série sur une ligne de transport ou de distribution ou sur un circuit faisant partie d'un réseau à courant alternatif à haute ou basse tension de fréquence inférieure ou égale à 100 Hz.
- b) aux batteries de condensateurs avec leurs accessoires formant une installation de condensateurs série complète.

##### 1.2 Ces recommandations s'appliquent aux condensateurs devant être utilisés dans les conditions suivantes :

- température ambiante comprise entre  $-10$  et  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- moyenne journalière de la température ambiante ne dépassant pas  $30^{\circ}\text{C}$ ;
- moyenne annuelle de la température ambiante ne dépassant pas  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- altitude ne dépassant pas 1 000 m.

##### 1.3 Ces recommandations ne s'appliquent pas aux condensateurs dont les conditions de service, d'une façon générale, sont incompatibles avec les règles énoncées ci-après, à moins d'un accord spécial entre le constructeur et l'acheteur.

#### 2. Objet

L'objet de ces recommandations est :

- a) de formuler des règles de sécurité;
- b) de formuler des règles uniformes en ce qui concerne la qualité, les essais et les caractéristiques nominales;
- c) de donner un guide pour l'installation et l'exploitation.

#### 3. Terminologie

##### 3.1 *Élément de condensateur (ou élément)*

Partie indivisible du condensateur constituée par des électrodes métalliques séparées par un diélectrique.

##### 3.2 *Condensateur unitaire (ou unité)*

Ensemble d'un ou plusieurs éléments placés dans une cuve et dont les électrodes sont reliées à des bornes de sortie.

##### 3.3 *Batterie de condensateurs (ou batterie)*

Groupement de condensateurs unitaires réunis électriquement les uns aux autres.

##### 3.4 *Condensateur*

Dans les présentes recommandations, le terme « condensateur » est employé lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un condensateur unitaire ou d'une batterie.

## SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS

### SECTION ONE — GENERAL

#### 1. Scope

1.1 These recommendations apply to:

- a) capacitor units which are intended for connection in series with a transmission or distribution line or circuit forming part of an a.c. low or high voltage power system having a frequency up to 100 Hz (c/s);
- b) assemblies of capacitor units with accessories to form complete series capacitor equipments.

1.2 These recommendations apply to capacitors intended for operation under the following conditions:

- ambient temperature between  $-10$  and  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- mean value of ambient temperature over 24 hours not exceeding  $30^{\circ}\text{C}$ ;
- mean value of ambient temperature over a year not exceeding  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- altitude not exceeding 1 000 m (3 300 ft).

1.3 These recommendations do not apply to capacitors the service conditions of which, in general, are incompatible with the requirements of the specification, unless otherwise agreed between manufacturer and purchaser.

#### 2. Object

The object of these recommendations is:

- a) to formulate safety requirements;
- b) to formulate uniform requirements regarding performance, testing and rating;
- c) to give a guide for the installation and operation.

#### 3. Definitions

##### 3.1 Capacitor element (or element)

An indivisible part of a capacitor consisting of metal foils separated by a dielectric.

##### 3.2 Capacitor unit (or unit)

An assembly of one or more capacitor elements in a single container with terminals brought out.

##### 3.3 Capacitor bank (or bank)

A group of units which in each phase are connected electrically to each other.

##### 3.4 Capacitor

In these recommendations the word “capacitor” is used when it is not necessary to lay particular stress upon the different meanings of the words “capacitor unit” or “capacitor bank”.

### 3.5 *Installation de condensateurs*

Ensemble constitué par des condensateurs unitaires et les accessoires nécessaires à leur raccordement et à leur protection.

### 3.6 *Dispositif de décharge*

Dispositif branché entre les bornes du condensateur à l'intérieur ou à l'extérieur de celui-ci ou raccordé au jeu de barres qui alimente une batterie et capable de ramener pratiquement à zéro la tension résiduelle du condensateur lorsque celui-ci a été séparé de son alimentation.

### 3.7 *Tension nominale $U_n$*

Valeur efficace de la tension sinusoïdale que la conception du condensateur doit lui permettre de supporter en permanence entre ses bornes.

### 3.8 *Tension d'essai de 1 seconde $U_s$*

Valeur efficace de la tension sinusoïdale entre bornes qui détermine l'aptitude d'un condensateur-série à supporter des surtensions de courte durée entre ses bornes.

### 3.9 *Niveau d'isolement*

Ensemble des valeurs de tension (à fréquence industrielle et en onde de choc, voir article 13) qui caractérisent l'aptitude de l'isolement du condensateur entre les bornes et la masse à supporter la contrainte électrique.

### 3.10 *Tension la plus élevée d'un réseau*

Valeur la plus élevée de la tension efficace entre phases qui peut se présenter à un instant et en un point quelconque du réseau dans les conditions d'exploitation normales. Cette valeur ne tient pas compte des variations temporaires de tension dues aux défauts et au déclenchement brusque de charges importantes.

### 3.11 *Puissance nominale*

Puissance réactive fournie par le condensateur lorsqu'il est soumis à une tension égale à sa tension nominale et dont la fréquence est celle pour laquelle le condensateur est prévu.

### 3.12 *Courant nominal*

Valeur efficace du courant traversant une borne du condensateur lorsqu'il fournit sa puissance nominale.

### 3.13 *Perte du condensateur*

Puissance active consommée par le condensateur.

### 3.14 *Tangente de l'angle de pertes ( $\tan \delta$ )*

Quotient des pertes du condensateur par la puissance réactive de celui-ci.

### 3.15 *Dispositif de protection du condensateur contre les surtensions*

Appareillage limitant rapidement la tension aux bornes du condensateur à une valeur admissible; sans ce dispositif, la valeur de cette tension pourrait prendre des valeurs élevées par suite d'un défaut sur le réseau.

### 3.16 *Tension limite $U_{lim}$*

Valeur supérieure de la tension de crête divisée par  $\sqrt{2}$  qui peut apparaître aux bornes du condensateur pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions.

### 3.5 Capacitor equipment

An assembly of capacitor units and accessories suitable for connection to a circuit.

### 3.6 Discharge device

A device connected across the terminals or busbars or built into a capacitor, capable of reducing the residual voltage across the capacitor effectively to zero after the capacitor has been disconnected from the supply.

### 3.7 Rated voltage $U_n$

The r.m.s. value of the sinusoidal voltage between terminals which the capacitor is designed to withstand continuously.

### 3.8 1 second test voltage $U_s$

The r.m.s. value of the sinusoidal voltage between terminals which assesses the ability of a series capacitor to withstand short-time overvoltages.

### 3.9 Insulation level

The combination of voltage values (both power-frequency and impulse, see Clause 13) which characterizes the insulation of the capacitor with regard to its capability of withstanding the electric stresses between terminals and metallic parts intended to be earthed.

### 3.10 Highest voltage of a system

The highest r.m.s. line-to-line voltage which can be sustained under normal operating conditions at any time and at any point on the system. It excludes temporary voltage variations due to fault conditions and the sudden disconnection of large loads.

### 3.11 Rated output

The reactive power at rated voltage and frequency for which the capacitor is designed.

### 3.12 Rated current

The r.m.s. current through one terminal at the rated output.

### 3.13 Capacitor losses

The active power consumed by a capacitor.

### 3.14 Tangent of the loss angle ( $\tan \delta$ )

The capacitor losses divided by the output of the capacitor.

### 3.15 Capacitor overvoltage protector

A quick-acting device which limits the voltage across the capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a circuit fault.

### 3.16 Limiting voltage $U_{lim}$

The maximum crest voltage between capacitor terminals occurring during operation of the over-voltage protector, divided by  $\sqrt{2}$ .

## SECTION DEUX — RÈGLES DE SÉCURITÉ

### 4. Dispositifs de décharge

- 4.1 On peut considérer que les condensateurs sont déchargés d'une manière convenable s'ils sont réunis directement, c'est-à-dire sans interrupteur, ni fusible, ni autre moyen de coupure, à un circuit dont les caractéristiques permettent leur décharge dans les conditions de temps indiquées ci-dessous.
- 4.2 Si ces conditions ne sont pas réalisées, les installations de condensateurs doivent comporter un dispositif capable de réduire la tension à 50 V au moins, en un temps inférieur à une minute si la valeur de la tension nominale des condensateurs est inférieure ou égale à 660 V et à cinq minutes si cette tension est supérieure à 660 V.

*Note.* — Lorsque des mises hors tension et sous tension des condensateurs peuvent se succéder à des intervalles de temps très courts (réenclenchement rapide sur les réseaux, etc.) une attention particulière doit être apportée au fait que le dispositif de décharge ainsi prévu peut ne pas être suffisant pour éviter qu'apparaissent des surtensions aux bornes de la batterie.

- 4.3 L'utilisation d'un dispositif de décharge ne dispense pas de mettre les bornes en court-circuit et à la terre avant toute manipulation.

### 5. Borne de la cuve

La cuve métallique des condensateurs doit avoir une borne destinée à être reliée à la terre ou au support métallique des condensateurs qui peut être isolé de la terre.

### 6. Autres prescriptions de sécurité

L'acheteur devrait spécifier toutes les conditions spéciales résultant des prescriptions de sécurité en vigueur dans le pays où le condensateur sera installé.

## SECTION TROIS — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS

### 7. Nature des essais

- 7.1 Les essais prévus dans ces recommandations sont de deux sortes :

*a) les essais de type*

Mesure des pertes si celle-ci est effectuée (article 9)  
Essai de stabilité thermique (article 10)  
Essai à la tension d'essai de 1 seconde  $U_s$  (paragraphe 11.2)  
Essai de décharge (paragraphe 11.3)  
Essai en onde de choc entre bornes et cuve (paragraphe 12.1.2)

*b) les essais individuels:*

Mesure de la capacité et détermination de la puissance (article 8)  
Essai diélectrique sous tension continue ou alternative entre bornes (paragraphe 11.1)  
Essai entre bornes et cuve sous tension alternative (paragraphe 12.1.1)  
Essai entre bornes et terre de batteries de condensateurs (paragraphe 12.2.1).

- 7.2 Les essais de type ont pour but de prouver que le mode de construction est convenable et que les appareils pourront être utilisés dans les conditions précisées dans ces recommandations. Les essais de type doivent être effectués sur au moins une unité de chaque groupe d'une commande ayant les mêmes caractéristiques si sa puissance est égale ou inférieure à 50 kvar. Toutefois, lorsque les essais de type ont déjà été effectués sur une unité d'une construction identique ou d'une construction

## SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS

### 4. Discharge devices

- 4.1 Capacitors connected directly to other electrical equipment, providing a discharge path without having a disconnection switch, fuse or cut-out interposed, shall be considered properly discharged, provided that the circuit characteristics are such as to ensure the discharge of the capacitor within the times specified below.
- 4.2 If these conditions are not complied with, capacitors shall be provided with a means of reducing the residual voltage to 50 V or less within a given time after the capacitor is disconnected from the source of supply. This time is 1 minute for capacitors of rated voltage up to and including 660 V and 5 minutes for capacitors of rated voltage above 660 V.

*Note.* — When the capacitors may be switched off and on at very short intervals (rapid reclosure on the lines etc.) particular attention should be paid to the fact that the discharge device provided in accordance with this clause may not be adequate to avoid overvoltages at the terminals of the bank.

- 4.3 The use of a discharge device is not intended as a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to earth before handling.

### 5. Container connection

The metal container of a series capacitor shall have a terminal for connection to earth or to a metal supporting structure insulated from earth.

### 6. Other safety regulations

The purchaser should specify any special requirements with regard to the safety regulations which apply to the country in which the capacitor is to be installed.

## SECTION THREE — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

### 7. Nature of tests

- 7.1 The tests specified are of two kinds:

*a) type tests*

Measurement of capacitor losses, if required (Clause 9)  
Thermal stability test (Clause 10)  
Test with the 1 second test voltage  $U_s$  (Sub-clause 11.2)  
Discharge test (Sub-clause 11.3)  
Impulse voltage test between terminals and container (Sub-clause 12.1.2).

*b) routine tests*

Measurement of capacitance and determination of output (Clause 8)  
D.C. or a.c. voltage proof test between terminals (Sub-clause 11.1)  
A.C. voltage test between terminals and container (Sub-clause 12.1.1)  
Tests between terminals and earth for capacitor banks (Sub-clause 12.2.1).

- 7.2 Type tests are intended to prove the soundness of the design of the capacitor and its suitability for operation under the conditions detailed in these recommendations. For each contract, type tests shall be carried out on a capacitor unit, not exceeding 50 kvar, identical with those incorporated therein. Where, however, type tests have already been carried out on a unit of an identical design or of a design which has not been altered in a way that might influence the properties to be checked

qui n'a pas été modifiée dans une mesure susceptible d'influencer les caractéristiques à vérifier par les essais de type, il n'est pas obligatoire de répéter ces essais, mais à la demande de l'acheteur, un certificat relatif aux essais antérieurs doit être produit par le constructeur. Les essais seront refaits si cela est prévu par un accord spécial entre le constructeur et l'acheteur.

7.3 Les essais individuels sont effectués sur chaque condensateur à la livraison.

## 8. Capacité et puissance (essai individuel)

8.1 La capacité doit être mesurée à une température de  $25^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$  suivant une méthode permettant d'éliminer les erreurs dues aux harmoniques et aux accessoires tels que résistances, réactances et circuits bouchons. La mesure s'effectue en appliquant au condensateur une tension sinusoïdale égale à sa tension nominale et dont la fréquence est égale à la fréquence nominale. Cependant, il est possible d'effectuer la mesure pour des valeurs de la tension et de la fréquence différentes des valeurs nominales si le constructeur et l'acheteur conviennent de facteurs de correction appropriés.

*Note.* — Il est recommandé de mesurer la capacité sous une tension approximativement égale à la tension nominale avant et après l'essai diélectrique.

8.2 La puissance des condensateurs calculée en utilisant les valeurs de la capacité mesurée, de la tension nominale et de la fréquence nominale, ne doit pas s'écarter de la puissance nominale de plus de :

— 5 ou +10% pour les condensateurs unitaires;

— 5 ou + 5% pour chaque phase des batteries de condensateurs.

## 9. Mesure des pertes (essai de type)

Ces mesures constituent un essai de type qui n'est à effectuer qu'après accord entre le constructeur et l'acheteur. Cet accord devrait préciser certains détails de la méthode de mesure, tels que la température ambiante, la tension de mesure et la fréquence, ainsi que les résultats à obtenir. La méthode doit permettre d'éliminer les erreurs dues aux harmoniques. Il sera nécessaire de tenir compte de la présence d'accessoires tels que les résistances.

## 10. Essai de stabilité thermique (essai de type)

10.1 Cet essai a pour but de vérifier l'aptitude du condensateur à supporter des surcharges de longue durée.

10.2 Le condensateur est placé dans une enceinte où la température à  $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , les conditions d'évaluation des pertes par la cuve étant normales.

Après un temps suffisant pour que le condensateur ait pris cette température en tous ses points, il est soumis, pendant une durée  $T$  de 48 heures ou plus, au choix du constructeur, à une tension pratiquement sinusoïdale égale à 1,2 la fois tension nominale, et de fréquence égale à la fréquence nominale. Les tangentes de l'angle de pertes  $\text{tg}\delta_1$ ,  $\text{tg}\delta_2$  et  $\text{tg}\delta_3$ , sont mesurées respectivement au temps  $T/3$ ,  $T/2$  et  $T$ .

Les valeurs mesurées doivent satisfaire soit aux conditions :

$$\text{tg}\delta_1 + \text{tg}\delta_3 \leq 2 \text{tg}\delta_2 < 2,1 \text{tg}\delta_1$$

soit aux conditions

$$\text{tg}\delta_1 \geq \text{tg}\delta_2 \geq \text{tg}\delta_3$$

*Note.* — Pendant l'essai, le condensateur est placé dans une enceinte dont on suppose la température égale à celle indiquée par un thermomètre placé à environ 30 cm de la cuve au tiers de la hauteur à partir du haut. Ce thermomètre doit être plongé dans l'huile contenue dans une boîte métallique massive, et protégé des radiations.

by the type tests, the tests need not be repeated, but on request of the purchaser a certificate giving the results of earlier tests shall be provided. The tests need be repeated only if agreed between manufacturer and purchaser.

7.3 Routine tests shall be carried out on every capacitor before delivery.

## 8. Capacitance and output (routine test)

8.1 The capacitance shall be measured at a temperature of  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  using a method which excludes errors due to harmonics and to accessories such as resistors, reactors and blocking circuits. The standard test conditions are the rated voltage and the rated frequency. However, measurement at some other voltage and frequency is permitted, provided that appropriate correction factors are agreed upon between manufacturer and purchaser.

*Note.* — It is recommended that the capacitance be measured using approximately rated voltage both before and after the voltage test.

8.2 The output of the capacitors, computed from the measured capacitance, the rated voltage and the rated frequency, shall not differ from the rated output by more than:

- 5 or +10% for capacitor units;
- 5 or + 5% for each phase of capacitor banks.

## 9. Capacitor losses (type test)

This clause relates to a type test that shall be carried out only if so agreed between manufacturer and purchaser. This agreement should include details of the measuring method, such as ambient temperature, measuring voltage and frequency, and the results to be obtained. The method used shall exclude errors due to harmonics. The presence of accessories such as resistors should be taken into account.

## 10. Thermal stability test (type test)

10.1 This test is intended to prove the suitability of the design to operate under long time overload conditions.

10.2 The capacitor shall be placed under normal cooling conditions in an enclosure where the temperature is maintained at  $35 \pm 3^\circ\text{C}$ .

After all parts of the capacitor have attained this temperature, the capacitor shall be subjected to a voltage at rated frequency and of substantially sinusoidal form, of 1.2 times the rated voltage, for a time  $T$  of 48 hours or more at the discretion of the manufacturer.

The tangents of the loss angles,  $\tan \delta_1$ ,  $\tan \delta_2$  and  $\tan \delta_3$  shall be measured respectively at the points of time  $T/3$ ,  $T/2$  and  $T$ .

The measured values shall satisfy either the condition:

$$\tan \delta_1 + \tan \delta_3 \leq 2 \tan \delta_2 < 2.1 \tan \delta_1$$

or the condition:

$$\tan \delta_1 \geq \tan \delta_2 \geq \tan \delta_3$$

*Note.* — The temperature of the air in the enclosure in which the capacitor is placed during the test shall be assumed to be equal to that indicated by a thermometer placed at a point approximately 30 cm away from the capacitor container and at one third of the height of the capacitor container down from its top. This thermometer shall be immersed in a massive metal cup filled with oil and protected from radiation.

10.3 Les essais de stabilité thermique doivent, si possible, être effectués même sur les unités de plus de 50 kvar ou sur des parties suffisamment représentatives de ces condensateurs et ayant une puissance supérieure ou égale à 25 kvar. Pour les unités de plus de 50 kvar, la mesure de  $\tan \delta$  peut être remplacée par la mesure de l'échauffement de la cuve.

*Note.* — Avant de contrôler que les valeurs mesurées des tangentes de pertes satisfont les relations définies ci-dessus, on doit éventuellement les corriger par des facteurs appropriés qui permettent de tenir compte des fluctuations de tension, de fréquence et de température ambiante.

## 11. Essais entre bornes

### 11.1 Essai diélectrique (essai individuel)

Chaque unité doit être soumise pendant au moins 10 secondes à l'un des essais *a)* et *b)* définis ci-dessous.

*Note.* — La durée de l'essai ne doit jamais dépasser 1 minute.

*a)* Essai sous tension continue, la tension d'essai étant :

$$U_t = 4,3 U_n$$

*Note.* — Le courant de charge et le courant de décharge doivent être limités à cinq fois le courant nominal.

*b)* Essai sous tension alternative, la valeur efficace de la tension d'essai étant :

$$U_t = 2,15 U_n$$

La tension alternative doit être pratiquement sinusoïdale; sa fréquence doit être comprise entre 15 et 100 Hz et de préférence aussi voisine que possible de la fréquence nominale.

### 11.2 Essai à tension d'essai de 1 seconde $U_s$ (essai de type)

Les tensions d'essai appliquées pendant cet essai doivent être pratiquement sinusoïdales et à peu près à la fréquence nominale. Le circuit d'essai doit être suffisamment amorti pour que les surtensions dues aux phénomènes transitoires soient les plus réduites possibles. Pendant tout l'essai la température ambiante du condensateur doit être de  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ .

La tension nominale doit être appliquée au condensateur pendant un temps suffisant pour que son équilibre thermique soit atteint. Puis une tension égale à  $U_s$  doit être appliquée au condensateur une fois seulement pendant une seconde.

La tension doit alors être réduite jusqu'à  $1,2 U_n$  et maintenue à cette valeur pendant 10 minutes. Au bout de ce temps la tension est augmentée jusqu'à  $1,5 U_n$  et maintenue à cette valeur pendant 10 minutes. A aucun moment pendant cette période de 10 minutes, on ne devra observer une augmentation du taux d'ionisation.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 8.1 dans les conditions identiques pour les deux mesures de capacité.

Le résultat de ces mesures ne doit pas, en principe, traduire de variations de capacité. On doit tenir compte de deux facteurs dans l'interprétation des résultats :

- a)* la reproductibilité de la méthode de mesure;
- b)* le fait qu'un changement interne dans le diélectrique peut provoquer une faible variation de la capacité sans qu'aucun élément de condensateur n'ait claqué.

*Notes 1.* — Cet essai doit être effectué suivant le cycle défini ci-dessus sans aucune interruption de la tension.

2. — La mesure effectuée au cours de l'essai peut manquer de sensibilité si la capacité du condensateur est plus grande que celle pour laquelle l'appareil de mesure a une sensibilité convenable. Dans ce cas, le constructeur et l'acheteur peuvent convenir que l'essai sera effectué sur un condensateur ayant une capacité plus faible réalisé et conçu d'une manière identique à celui qui devait subir l'essai.

3. — Par le mot «ionisation», il faut entendre dans cet article des décharges qui apparaissent dans le diélectrique. En conséquence, les méthodes de mesure telles que la mesure du facteur de pertes ne conviennent pas. Les exigences générales en ce qui concerne les mesures d'ionisation sont spécifiées dans l'annexe.

10.3 The stability test should, where practicable, also be carried out on capacitor units of more than 50 kvar or on representative parts of them with an output of not less than 25 kvar. For capacitor units of more than 50 kvar it is permissible to make use of the temperature rise of the container in place of the measurement of  $\tan \delta$ .

*Note.* — When checking whether the measured values satisfy the conditions of Sub-clauses 10.1 and 10.3 fluctuations of voltage, frequency and ambient temperature during the test shall be taken into account by appropriate correction factors.

## 11. Tests between terminals

### 11.1 Voltage proof test (routine test)

Every unit shall be subjected for not less than 10 seconds to either test a) or b) below.

*Note.* — The duration of the test should never be longer than 1 minute.

a) A d.c. test, the test voltage being:

$$U_t = 4.3 U_n$$

*Note.* — The charging and discharging currents shall be limited to five times the rated current.

b) An a.c. test, the test voltage being:

$$U_t = 2.15 U_n$$

The a.c. test shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage at a frequency between 15 and 100 Hz (c/s) and preferably as near as possible to the rated frequency.

### 11.2 Test with the 1 second test voltage $U_s$ (type test)

The test voltages applied during this test shall be substantially sinusoidal at approximately the rated frequency of the capacitor. The test circuit shall be suitably damped to reduce overvoltages due to transients as much as possible. Throughout the test, the ambient temperature of the capacitors shall be  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ .

The rated voltage shall be applied to the capacitor for sufficient time to ensure that it reaches thermal equilibrium. A voltage equal to  $U_s$  shall then be applied once only to the capacitor for 1 second.

The voltage shall then be reduced to  $1.2 U_n$  and maintained for a period of 10 minutes, after which the voltage shall be raised to  $1.5 U_n$  and maintained for a period of 10 minutes. There shall be no increase in ionization level at any time during this 10 minutes' period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured in accordance with Sub-clause 8.1 under identical conditions for the two capacitance measurements.

In principle, no capacitance change shall be apparent from these measurements. When interpreting the results of these measurements two factors shall be taken into account:

- a) the reproducibility of the measuring method;
- b) the fact that an internal change in the dielectric may cause a small change of capacitance without breakdown of any element of the capacitor.

*Notes 1.* — This test must be made in accordance with the above test cycle, without switching off the voltage.

2. — The test for verifying the ionization may be insensitive if the capacitance tested is too large in relation to that for which the test apparatus has adequate sensitivity. In this case agreement should be reached between manufacturer and purchaser as to a smaller capacitance of the same design and construction to be tested.

3. — The term "ionization" as used herein refers to discharges generated in the dielectric. Therefore such test methods as the measurement of  $\tan \delta$  are not considered adequate.

General requirements concerning ionization measurements are given in the Appendix.

### 11.3 Essai de décharge (essai de type)

Le condensateur est chargé à une tension continue égale à  $\sqrt{2}$  fois la tension  $U_s$  et déchargé à travers un circuit satisfaisant aux conditions suivantes :

- la valeur de crête du courant de décharge doit être supérieure ou égale à 100 fois le courant nominal de l'unité;
- chaque pointe du courant de décharge doit être supérieure ou égale à la moitié de la pointe de courant précédente de même polarité.

Cette décharge doit être répétée 50 fois à des intervalles d'environ 5 secondes. On pourra adopter un intervalle plus long quand la puissance du condensateur et la dimension de l'installation d'essai le nécessiteront.

Aussi vite que possible après la dernière décharge et en tout cas avant 10 secondes, l'unité sera connectée à une tension alternative d'une valeur efficace égale à  $1,2 U_n$ .

Cette tension sera maintenue pendant 10 minutes, puis augmentée jusqu'à  $1,5 U_n$  et maintenue à cette valeur pendant 10 minutes.

A aucun moment pendant cette période on ne devra observer une augmentation du taux d'ionisation.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 8.1 dans les conditions identiques pour les deux mesures.

Le résultat de ces mesures ne doit pas, en principe, traduire de variations de capacité; cependant les deux facteurs  $a$  et  $b$  mentionnés au paragraphe 11.2 valent aussi pour cet article.

*Note.* — Les notes 2 et 3 du paragraphe 11.2 s'appliquent également à la mesure du taux d'ionisation au cours de l'essai de décharge.

### 11.4 Essai de rigidité pour surtensions élevées (essai de type).

A l'étude.

## 12. Essais diélectriques entre bornes et cuve

### 12.1 Condensateurs unitaires (seulement si toutes les bornes sont isolées de la cuve)

#### 12.1.1 Essai en courant alternatif entre bornes et cuve (essai individuel)

Chaque unité doit être soumise, pendant au moins 10 secondes, à un essai entre bornes (celles-ci étant reliées entre elles) et cuve, sous une tension alternative pratiquement sinusoïdale de fréquence comprise entre 15 et 100 Hz et dont la valeur efficace corresponde au niveau d'isolement de l'unité (voir les tableaux de l'article 13).

*Note.* 1. — La tension d'essai ne doit pas être inférieure à la tension  $U_s$ .

2. — La durée de l'essai ne doit jamais dépasser 1 minute.

#### 12.1.2 Essai sous tension de choc entre bornes et cuve (essai de type)

Les condensateurs unitaires prévus pour des conditions de service où des surtensions peuvent se produire doivent être soumis à un essai de choc avant l'essai sous courant alternatif prévu dans le paragraphe 12.1.1.

Cet essai doit être effectué en appliquant une onde de choc dont les caractéristiques sont 1/40 ou 1/50 microseconde pour la forme de l'onde (suivant la définition de la Publication 60 de la C.E.I.). La valeur de crête doit correspondre au niveau d'isolement de l'unité (voir les tableaux de l'article 13). Cinq ondes de choc de chaque polarité doivent être appliquées entre les bornes (reliées entre elles) et la cuve.

### 11.3 Discharge test (type test)

The capacitor shall be charged to a d.c. voltage of  $\sqrt{2}$  times the 1 second test voltage  $U_s$  and discharged through a circuit which satisfies the following conditions:

- the crest value of the discharge current shall not be less than 100 times the rated current of the capacitor unit;
- each amplitude of the discharge current shall not be less than one half of the foregoing amplitude of the same polarity.

This discharge shall be repeated 50 times at intervals of approximately 5 seconds. A longer interval shall be permitted when the output of the capacitor and the limitation of the test equipment necessitate this.

As quickly as possible after the last discharge, and in any case within 10 seconds, the unit shall be connected to an a.c. voltage with an r.m.s. value equal to  $1.2 U_n$ .

This voltage shall be maintained for a period of 10 minutes, after which the voltage shall be raised to  $1.5 U_n$  and maintained for a period of 10 minutes.

There shall be no increase in ionization level at any time during this 10 minutes' period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured in accordance with Sub-clause 8.1 under identical conditions for the two capacitance measurements.

In principle, no capacitance change shall be apparent from these measurements. However, the two factors mentioned in Sub-clause 11.2 (a and b) also apply to this clause.

*Note.* — The Notes 2 and 3 of Sub-clause 11.2 apply also to the ionization measurements made during the discharge test.

### 11.4 Dielectric strength test for high overvoltages (type test)

Under consideration.

## 12. Voltage tests between terminals and container

### 12.1 Capacitor units (only if all terminals are insulated from the container)

#### 12.1.1 A.C. test between terminals and container (routine test)

Every unit shall be subjected for not less than 10 seconds to a test between terminals (joined together) and container with a substantially sinusoidal a.c. voltage of a frequency between 15 and 100 Hz (c/s) and of the r.m.s. value corresponding to the insulation level of the unit (see tables of Clause 13).

*Notes.* 1. — The test voltage shall not be less than the 1 second test voltage  $U_s$ .

2. — The duration of the test should never be longer than 1 minute.

#### 12.1.2 Impulse voltage test between terminals and container (type test)

Units intended for use where they may be exposed to surge conditions shall be subjected to an impulse test before the alternating current test specified in Sub-clause 12.1.1.

This impulse test shall be made with a surge wave of 1/40 or 1/50 microseconds (as defined in I.E.C. Publication 60) having a crest value corresponding to the insulation level of the unit (see Tables of Clause 13). Five impulses of each polarity shall be applied between the terminals (joined together) and the container.

L'absence de claquage au cours de l'essai peut être vérifiée à l'aide de l'oscillographe à rayons cathodiques qui est utilisé pour enregistrer la tension et contrôler la forme de l'onde.

## 12.2 Batterie de condensateurs

### 12.2.1 Essais entre bornes et cuve

Si une batterie comporte des unités ou des isolateurs dont le niveau d'isolement est inférieur au niveau d'isolement de la batterie, des essais complémentaires doivent être effectués pour vérifier que la batterie complète peut supporter les essais correspondant à son niveau d'isolement ainsi qu'il est indiqué dans les tableaux de l'article 13.

## 13. Tableaux des tensions d'essai entre bornes et terre

La valeur de crête des tensions de tenue au choc et la valeur efficace des tensions de tenue à l'essai en courant alternatif correspondant aux niveaux d'isolement normalisés de la Publication 71 de la C.E.I., Recommandations pour la coordination de l'isolement, sont spécifiées dans les tableaux suivants.

Le tableau I s'applique aux condensateurs pour des tensions de réseau inférieures à 100 kV.

Le tableau II s'applique aux condensateurs pour des tensions de réseau égales ou supérieures à 100 kV. Pour chaque valeur de ces niveaux d'isolement, deux valeurs de tension d'essais de choc et de courant alternatif sont considérées :

- les valeurs élevées pour les condensateurs à utiliser dans des réseaux à neutre isolé ou à bobine d'extinction ou dans les réseaux dont le neutre n'est pas mis effectivement à la terre,
- les valeurs réduites qui sont seulement à considérer pour les condensateurs utilisés dans des réseaux dont le neutre est effectivement mis à terre.

L'essai de tension au choc doit être effectué sur un condensateur sec, qu'il s'agisse d'un équipement destiné à être monté à l'intérieur ou à l'extérieur.

Les essais de tenue en courant alternatif sont applicables aux condensateurs du type intérieur aussi bien que du type extérieur.

TABLEAU I

Tension la plus élevée de réseau (entre phases) $U_m$ kV (efficace)	Tension de tenue au choc onde 1/50, de polarité positive et négative kV (valeur de crête)	Tension de tenue en courant alternatif kV (efficace)
0,6	—	3
1,2	—	6
3,6	45	16
7,2	60	22
12	75	28
17,5	95	38
24	125	50
36	170	70
52	250	95
72,5	325	140

The absence of failure during the test may be verified by the cathode-ray oscillograph which is used to record the voltage and to check the wave shape.

## 12.2 Capacitor banks

### 12.2.1 Tests between terminal and container

If a bank contains units or insulating supports of a smaller insulation level than that of the bank, additional tests shall be carried out to ascertain that the complete bank will withstand the tests with voltages corresponding to its insulation level as indicated in the tables of Clause 13.

## 13. Tables of test voltages between terminals and earth

The crest value of the impulse withstand voltages and the r.m.s. value of the power-frequency withstand voltages corresponding to the standard insulation levels of I.E.C. Publication 71, Recommendations for insulation co-ordination, are given in the following tables.

Table I applies to capacitors for system voltages below 100 kV.

Table II applies to capacitors for system voltages of 100 kV or more. For each of these insulation levels two values of impulse and power-frequency test voltage are considered:

- the full values for capacitors to be used on isolated neutral or resonant earthed systems or non-effectively earthed systems,
- the reduced values, which may only be used for capacitors to be used on effectively earthed systems.

The impulse voltage test shall be made with the capacitor dry, both for outdoor and indoor equipment.

The power-frequency test withstand voltages are applicable to all types of capacitors both indoor and outdoor.

TABLE I

Highest system voltage (line-to-line) $U_m$ kV (r.m.s.)	Impulse withstand voltage 1/50 wave, positive and negative polarity kV (crest)	Power-frequency withstand voltage kV (r.m.s.)
0.6	—	3
1.2	—	6
3.6	45	16
7.2	60	22
12	75	28
17.5	95	38
24	125	50
36	170	70
52	250	95
72.5	325	140

TABLEAU II

Tension la plus élevée de réseau (entre phases) $U_m$  kV (efficace)	Tension de tenue au choc onde 1/50, de polarité positive et négative		Tension de tenue en courant alternatif	
	plein isolement kV (valeur de crête)	isolement réduit kV (valeur de crête)	plein isolement kV (efficace)	isolement réduit kV (efficace)
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	260
170	750	650	325	275
245	1 050	900	460	395
300	—	1 050	—	460
420	—	1 425	—	630

*Note.* — Dans les cas où il n'est pas apparent que la cuve a été construite pour être reliée à la terre en service normal, le niveau d'isolement pourra être choisi selon la tension nominale  $U_n$  de l'unité. Au cas où il est apparent que la cuve, où une autre partie métallique, est construite en vue d'être reliée à la terre en service normal, le niveau d'isolement doit correspondre au niveau d'isolement du réseau à la place où le condensateur sera installé. Ceci implique que dans certains cas spéciaux des niveaux d'isolement plus élevés que les valeurs normales du tableau II puissent être spécifiés.

## SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES

### 14. Plaque signalétique

#### 14.1 Condensateur unitaire

Les indications suivantes doivent figurer sur la plaque signalétique de chaque condensateur unitaire :

1. Constructeur ;
2. Numéro d'indication ;
3. Puissance nominale en kilovars ou capacité équivalente en microfarads ou impédance équivalente en ohms ;
4. Tension nominale  $U_n$  en volts ou kilovolts ;
5. Fréquence nominale en Hz ;
6. Tension de tenue au choc en kilovolts \* ;
7. Dispositif de décharge, s'il existe.

\* Dans le cas où une tension de choc n'est pas spécifiée, il faut indiquer la tension de tenue en courant alternatif conformément à l'article 13.

Une place doit être réservée pour l'identification de la valeur de la capacité ou de l'impédance mesurée sous la tension et la fréquence nominales. Cette valeur mesurée peut être indiquée en valeur absolue ou en pourcentage de la valeur correspondant à la valeur nominale.

La valeur de la tension d'essai de 1 seconde  $U_s$  et tout autre renseignement important peuvent être indiqués sur la plaque signalétique ou sur une feuille d'instructions. Dans ce dernier cas, la plaque signalétique doit se référer à cette feuille.

TABLE II

Highest system voltage (line-to-line) $U_m$	Impulse withstand voltage 1/50 wave, positive and negative polarity		Power-frequency withstand voltage	
	full insulation kV (crest)	reduced insulation kV (crest)	full insulation kV (r.m.s.)	reduced insulation kV (r.m.s.)
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1 050	900	460	395
300	—	1 050	—	460
420	—	1 425	—	630

*Note.* — In those cases where the container is not obviously intended to be at earth potential during normal service, the insulation level may be chosen in accordance with the rated voltage  $U_n$  of the unit. When the container, or some other metal part, is obviously intended to be at earth potential during normal service, the insulation level shall correspond to the insulation level of the system at the place where the capacitor will be erected. This means that in certain special cases insulation levels higher than the standard values of Table II may be specified.

## SECTION FOUR — RATINGS

### 14. Nameplate

#### 14.1 Capacitor units

The following information shall be given on the nameplate of each capacitor unit:

1. Manufacturer;
2. Identification number;
3. Rated output in kilovars or equivalent capacitance in microfarads or equivalent reactance in ohms;
4. Rated voltage  $U_n$  in volts or kilovolts;
5. Rated frequency in herz (cycles per second);
6. Impulse withstand voltage in kilovolts \*;
7. Discharge device, if built in.

\* If no impulse voltage be specified, the a.c. withstand voltage according to Clause 13 shall be given.

A place shall be reserved for the measured capacitance or reactance at rated voltage and rated frequency. This measured value may be indicated as an absolute value or as a percentage of the rated value.

The 1 second test voltage  $U_s$  and any further information which is of importance shall be stated either on the nameplate or in an instruction sheet. In the latter case the nameplate shall bear a reference to this instruction sheet.

#### 14.2 Batterie de condensateurs

Les indications suivantes doivent figurer sur une feuille d'instructions d'une batterie de condensateurs :

1. Constructeur ;
2. Impédance par phase en ohms ;
3. Courant de service continu en ampères ;
4. Courant de service de courte durée pour 10 minutes ;
5. Tension limite du dispositif de protection en kilovolts ;
6. Température ambiante minimale et maximale en degrés Celsius ;
7. Tension la plus élevée du réseau en kilovolts ;
8. Tension de tenue au choc en kilovolts.

#### 15. Surcharges admissibles

##### 15.1 Tensions de service de courte durée

Les condensateurs-série unitaires doivent pouvoir supporter en service intermittent des surtensions entre bornes inférieures ou égales à 1,5 fois leur tension nominale  $U_n$  dans les conditions suivantes :

- Après l'application d'une manière permanente de la tension nominale  $U_n$ , les surtensions ne doivent pas être appliquées pendant des temps supérieurs à :
  - 2 heures pour 1,1  $U_n$  ;
  - 30 minutes pour 1,35  $U_n$  ;
  - 10 minutes pour 1,50  $U_n$ .
- La puissance réactive moyenne du condensateur pour chaque période de 8 heures ne doit pas être supérieure à 1,1 fois la puissance calculée à partir des valeurs de la capacité mesurée, de la tension nominale et de la fréquence nominale.
- La puissance réactive moyenne du condensateur pour chaque période de 24 heures ne doit pas dépasser la puissance calculée à partir des valeurs de la capacité mesurée, de la tension nominale et de la fréquence nominale.

*Note.* — Ce paragraphe correspond aux surtensions provoquées par une demande anormale de puissance y compris le démarrage de moteurs (voir encore le paragraphe 17.2).

##### 15.2 Surtensions transitoires

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir supporter en régime intermittent des surtensions transitoires dont la valeur de crête ne doit pas dépasser  $\sqrt{2}$  fois la tension d'essai de 1 seconde  $U_s$  et les décharges provoquées par l'amorçage du dispositif de protection contre les surtensions.

*Note.* — Ce paragraphe correspond aux surtensions provoquées par des défauts de réseau. Un article supplémentaire, actuellement à l'étude, précisera en fonction de leur valeur le nombre et la durée des surtensions (ainsi que le nombre des fonctionnements du dispositif de protection) qu'un condensateur de tension d'essai de 1 seconde  $U_s$  donnée peut supporter sans que sa durée de vie soit anormalement abrégée.

### SECTION CINQ — DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION

#### 16. Généralités

Puisque les condensateurs-série réduisent les réactances de ligne et également le déphasage des tensions aux extrémités de celles-ci, ils sont utilisés dans les lignes longues de transmission pour réduire la chute de tension et améliorer la stabilité du réseau, ce qui se traduit par une augmentation de la capacité de charge.

#### 14.2 Capacitor bank

The following information shall be given in an instruction sheet :

1. Manufacturer ;
2. Reactance per phase in ohms ;
3. Continuous working current in amperes ;
4. Short-time working current for 10 minutes ;
5. Protector limiting voltage in kilovolts ;
6. Minimum and maximum ambient temperatures in degrees Celsius ;
7. Highest voltage of the system in kilovolts ;
8. Impulse withstand voltage in kilovolts.

#### 15. Permissible overloads

##### 15.1 Short-time working voltages

Series capacitor units shall be suitable for repeated operation at voltages between terminals not exceeding 1.50 times the rated voltage  $U_n$  subject to the following conditions:

- The duration of any period of overvoltage following the continuous application of rated voltage  $U_n$  shall not exceed :
  - 2 hours for 1.1  $U_n$  ;
  - 30 minutes for 1.35  $U_n$  ;
  - 10 minutes for 1.50  $U_n$ .
- The average reactive power of the capacitor over any period of 8 hours shall not exceed 1.1 times the power calculated from the measured capacitance, the rated voltage and the rated frequency.
- The average reactive power of the capacitor over any period of 24 hours shall not exceed the power calculated from the measured capacitance, the rated voltage and the rated frequency.

*Note.* — This Sub-clause relates to overvoltages due to abnormal power demand including motor starting (see further Sub-clause 17.2).

##### 15.2 Transient overvoltages

Series capacitor units shall be suitable for repeated operation at transient overvoltages with crest values not exceeding  $\sqrt{2}$  times the 1 second test voltage  $U_s$  and for the discharges caused by the operation of the overvoltage protector.

*Note.* — This Sub-clause relates to overvoltages due to faults in the system. An additional clause, giving the number and duration of overvoltages as a function of their value (together with the number of operations of the overvoltage protector) which a capacitor of a given 1 second test voltage  $U_s$  can withstand without abnormal shortening of its life, is under consideration.

### SECTION FIVE — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

#### 16. General

Since series capacitors reduce the inductive line reactance, and therewith the phase angle between the voltages on the ends of the line, they are used in long transmission lines to improve the voltage regulation and the system stability which results in an increase of the loading capacity of the line.

On les utilise aussi pour améliorer la répartition des charges entre des lignes fonctionnant en parallèle et, d'après ce qui précède, pour réduire les pertes totales de transmission.

Par suite de leur action automatique et instantanée, les condensateurs-série sont employés dans les lignes de distribution et également en série avec des installations particulières pour réduire les fluctuations rapides de tension par suite des fluctuations de charge qui ne peuvent l'être en utilisant des régulateurs de tension. En conséquence, la qualité de la tension du réseau est améliorée.

Par suite des variations du courant de ligne, les condensateurs-série sont soumis à de plus grandes variations de la tension entre bornes que les condensateurs shunt. En cas de courts-circuits sur le réseau, cette tension peut avoir une telle amplitude que des condensateurs aptes à y résister seraient peu économiques. C'est pourquoi, dans la plupart des cas, les surtensions entre bornes sont limitées par un dispositif de protection contre les surtensions, raccordé en parallèle avec le condensateur.

L'influence des condensateurs-série et leurs conditions de service dépendent souvent de l'utilisation qui en est faite et pour obtenir les résultats techniques et économiques les meilleurs, on doit étudier individuellement chaque cas particulier d'application. Il est recommandé que le constructeur et l'acheteur fassent cette étude en étroite coopération.

## 17. Choix des tensions nominales

17.1 Les conditions relatives à la qualité diélectrique de l'isolement entre les bornes sont imposées par deux valeurs de tension nominale :

- la tension nominale  $U_n$  correspondant à l'utilisation normale (voir paragraphes 3.7 et 15.1) et,
- la tension d'essai de 1 seconde  $U_s$  correspondant aux surtensions transitoires qui apparaissent lorsqu'un défaut se produit sur un réseau (voir paragraphes 3.8 et 15.2).

Dans les présentes recommandations il n'existe aucune relation fixe entre  $U_s$  et  $U_n$  afin de ne pas imposer de limite dans la technique de construction du condensateur.

### 17.2 Tension nominale $U_n$

La tension nominale  $U_n$  est choisie en fonction des résultats d'une analyse des variations périodiques prévues de la charge. Les tensions aux bornes du condensateur sont calculées d'après ces résultats en prenant en compte une impédance de la batterie égale à 1,05 fois son impédance nominale, ceci en raison de la tolérance de — 5 % sur la capacité des batteries (voir paragraphe 8.2).

Il faut ensuite tenir compte du fait que la répartition de tension peut ne pas être uniforme lorsqu'on utilise plusieurs groupes d'unités en série, en particulier quand ces groupes contiennent un petit nombre d'unités en parallèle (voir article 19). La valeur  $U_n$  ne doit pas être inférieure à la plus élevée des trois valeurs suivantes (voir paragraphe 15.1) :

- la tension la plus élevée entre bornes divisée par 1,5 correspond à la charge du réseau pouvant se produire pendant une ou plusieurs périodes ne dépassant pas 10 minutes;
- la tension la plus élevée entre bornes divisée par 1,35 correspond à la charge du réseau pouvant se produire pendant un temps compris entre 10 et 30 minutes;
- la tension la plus élevée entre bornes divisée par 1,1 correspondant à la charge du réseau et pouvant se produire pendant une ou plusieurs périodes dont la durée est supérieure à 30 minutes, mais inférieure à 2 heures.

Par ailleurs,  $U_n$  doit être choisie de telle manière que la puissance réactive moyenne du condensateur, pour chaque période de 8 heures et de 24 heures, ne dépasse pas les limites indiquées au paragraphe 15.1.

*Note.* — Dans le cas où la charge du réseau ne peut pas être prévue, le constructeur devra établir un diagramme détaillé donnant le temps pendant lequel le condensateur peut supporter une surcharge donnée. La tension nominale  $U_n$  devra être choisie de telle façon qu'en aucun cas les limites de ce diagramme ne soient dépassées.

They are also used for improving the load distribution between lines working in parallel and thereby reducing the total transmission losses.

Because of their automatic and instantaneous response, series capacitors are used in distribution lines and in series with individual apparatus to reduce rapid voltage fluctuations, due to load fluctuations, which cannot be reduced by voltage regulators. Consequently, the voltage conditions of all apparatus connected to the system are improved.

Because of the fluctuating line current, series capacitors are subjected to much greater fluctuations of the voltage between their terminals than shunt capacitors. When short-circuits occur in the system, this voltage may be so high that capacitors designed to withstand it would be uneconomical. Therefore, overvoltages between terminals are limited in most cases by an overvoltage protector which by-passes the capacitors.

The effect of series capacitors on the system and their operating conditions are different in almost every case of their application. To attain the best technical and economic results, each particular case should be studied individually with close co-operation between manufacturer and purchaser.

## 17. Choice of the rated voltages

17.1 The requirements for the dielectric strength of the insulation between terminals are specified by two rated voltages:

- the rated voltage  $U_n$  which relates to normal operation (see Sub-clauses 3.7 and 15.1) and:
- the 1 second test voltage  $U_s$  which relates to transient voltages due to fault conditions in the system (see Sub-clauses 3.8 and 15.2).

No fixed relation between  $U_s$  and  $U_n$  is assumed in these recommendations in order to avoid limitations concerning the design of the capacitor.

### 17.2 Rated voltage $U_n$

The rated voltage  $U_n$  is chosen in relation to the results of an analysis of the expected load cycle. The voltages across the capacitor terminals are calculated from these results taking into account a bank reactance of 1.05 times the rated reactance because of the capacitance tolerance of banks of — 5% (see Sub-clause 8.2).

It should furthermore be taken into account that, when series connection of units is used, the voltage distribution may not be uniform, especially when the groups connected in series contain a small number of units in parallel (see Clause 19).  $U_n$  shall not be less than the highest of the following three values (see Sub-clause 15.1):

- the highest voltage between terminals resulting from the load cycle analysis which is sustained for one or more periods not exceeding 10 minutes, divided by 1.5;
- the highest voltage between terminals resulting from the load cycle analysis which is sustained during one or more periods of more than 10 minutes but not exceeding 30 minutes, divided by 1.35;
- the highest voltage between terminals resulting from the load cycle analysis which is sustained during one or more periods of more than 30 minutes but not exceeding 2 hours, divided by 1.1.

Furthermore,  $U_n$  shall be so chosen that the average reactive power of the capacitor over any period of 8 hours and its average reactive power over any period of 24 hours does not exceed the limits given in Sub-Clause 15.1.

*Note.* — If an analysis of the expected load-cycle should not be practicable following the procedure laid down in this clause, the manufacturer should provide a detailed overload diagram for the capacitor and the rated voltage  $U_n$  should be so chosen that on no occasion are the limits of this diagram exceeded.

### 17.3 Tension d'essai de 1 seconde $U_s$

Le choix de la tension d'essai de 1 seconde  $U_s$  dépend du type du dispositif de protection du condensateur contre les surtensions et de la tension limite  $U_{lim}$  (voir paragraphe 21.1).

Il doit exister une marge de sécurité entre  $U_{lim}$  et  $U_s$  qui devrait être choisie de telle sorte que  $U_{lim}$  ne dépasse pas :

0,85  $U_s$  pour les dispositifs de protection utilisant un éclateur à arc continu;

0,70  $U_s$  pour les dispositifs de protection utilisant un éclateur à arc répété (éclateur à auto-extinction).

*Note.* — Pour les petites batteries installées dans les réseaux de distribution et où l'on suppose que les surtensions dues aux défauts seront relativement faibles par rapport à la tension nominale du condensateur, il peut être plus économique de ne pas installer un dispositif de protection contre les surtensions et de choisir en conséquence  $U_s$  de façon convenable.

## 18. Explications concernant les essais entre bornes de l'article 11

### 18.1 Paragraphe 11.1 — Essai diélectrique

Cet essai exécuté sous une tension continue de 4,3  $U_n$  ou sous une tension alternative de 2,15  $U_n$  pendant au moins 10 secondes et au plus une minute est le même essai que celui qui est effectué pour les condensateurs shunt. Le but de cet essai est d'ailleurs le même qu'il s'agisse de condensateur-série ou shunt : la détection des défauts éventuels dans le matériel ou dans la fabrication.

### 18.2 Paragraphe 11.2 — Essai à tension d'essai de 1 seconde $U_s$

Cet essai de type effectué pendant 1 seconde et sous une tension alternative  $U_s$  a pour but de vérifier l'aptitude du condensateur à supporter les surtensions de courte durée les plus importantes qui peuvent apparaître à ses bornes en cas de défaut dans le réseau.

Il est important qu'à la suite de l'application de telles surtensions l'ionisation qui a pu être déclenchée dans le diélectrique ne soit pas maintenue et surtout n'augmente pas avec le temps.

### 18.3 Paragraphe 11.3 — Essai de décharge

Cet essai de type a pour but de contrôler l'aptitude du condensateur à supporter les contraintes mécaniques et électriques provoquées par les décharges à haute fréquence qui se produisent lorsque le dispositif de protection contre les surtensions fonctionne.

Il est également important de contrôler l'ionisation après cet essai (voir paragraphe 18.2).

Dans les cas particuliers où les conditions d'essai du paragraphe 11.3 ne répondent pas aux conditions d'utilisation du condensateur, des modifications peuvent y être apportées en accord entre le constructeur et l'acheteur. Pour reproduire les conditions d'utilisation, on peut se baser sur la méthode suivante :

En général, on peut schématiser le circuit du dispositif de protection contre les surtensions par un éclateur en série avec une réactance  $L$  et une résistance  $R$ , connectée en série ou en parallèle avec la réactance.

Ce circuit doit être équivalent au circuit réel et les valeurs de la réactance  $L_t$  et de la résistance  $R_t$  dans le circuit d'essai doivent être :

$$L_t = b.L$$

$$R_t = b.R$$

dans lesquelles  $b$  est le rapport entre capacité de la batterie et celle de l'unité soumise à l'essai.

## 19. Tolérance de la capacité

S'il existe une différence entre les capacités branchées en série dans les trois phases d'une ligne, des tensions de phase différentes apparaissent aux bornes des condensateurs et le point neutre des tensions

### 17.3 1 second test voltage $U_s$ .

The choice of the 1 second test voltage  $U_s$  depends on the type of capacitor overvoltage protector and its limiting voltage  $U_{lim}$  (see Sub-clause 21.1).

A safety margin between  $U_{lim}$  and  $U_s$  is required.  $U_s$  should be so chosen that  $U_{lim}$  does not exceed:

0.85  $U_s$  for protectors containing a gap with sustained arc,

0.70  $U_s$  for protectors containing a gap with repetitive arc (self-extinguishing gap).

*Note.* — For smaller banks in distribution systems and where the overvoltages due to faults are expected to be relatively small as compared with the rated capacitor voltage, it may be more economical not to use a capacitor overvoltage protector and consequently to choose  $U_s$  accordingly.

## 18. Explanations regarding the tests between terminals of Clause 11

### 18.1 Sub-clause 11.1 — Voltage proof test

This test with d.c. of 4.3  $U_n$  or a.c. of 2.15  $U_n$  during not less than 10 seconds, and not longer than 1 minute is the same as for shunt capacitors and has the same purpose, namely to detect possible material and manufacturing faults.

### 18.2 Sub-clause 11.2 — Test with the 1 second test voltage $U_s$

This type test or sampling test with a.c. of  $U_s$  during 1 second is intended to verify that the capacitor can withstand short-time voltage applications up to the maximum value which can occur in the system under fault conditions.

It is important that, after such overvoltage applications, any ionization that may have been set up in the dielectric will not be sustained, and especially that it will not increase in magnitude with time.

### 18.3 Sub-clause 11.3 — Discharge test

This type test is intended to check the ability of the capacitor to withstand the mechanical and electrical stresses caused by the high-frequency discharge occurring when the overvoltage protector by-passes the capacitor.

Checking of the ionization is also important after this test (see Sub-clause 18.2).

If, in special cases, the available arrangements for the test conditions of Sub-clause 11.3 are not adequate to meet the practical conditions of the use of the capacitor equipment, alterations may be agreed upon between the manufacturer and purchaser. To imitate as far as possible the practical conditions of use, the following method may be applied:

Generally, a substitute circuit for the capacitor overvoltage protector can be established consisting of a spark gap in series with a reactance  $L$  and a resistance  $R$ , the latter two being connected in parallel or in series.

The test circuit shall be matched to this substitute circuit and the values of the reactance  $L_t$  and the resistance  $R_t$  of the test circuit shall be:

$$L_t = b.L$$

$$R_t = b.R$$

where  $b$  is the capacitance ratio of the capacitor bank and the capacitor unit under test.

## 19. Capacitance tolerance

If the series capacitances in the three phases of a line are different, differing phase voltages will appear at the receiving end of the line and the neutral point of the voltage system will be displaced.

du réseau sera déplacé, ce qui a pour effet de produire des effets nuisibles dans les transformateurs et d'autres appareils. Le point neutre étant mis à la terre, des courants de terre peuvent circuler. Les différences de tension résultantes dépendent, pour des différences de capacité données, des caractéristiques du circuit. Le paragraphe 8.2 admet une différence de 10 pour cent entre les capacités par phase. Cependant, pour les raisons mentionnées, il est recommandé de réduire les différences de capacité autant que possible. Dans les batteries constituées d'un grand nombre d'unités, ceci peut facilement être obtenu par une distribution des unités entre les phases d'une manière convenable. Dans les petites batteries, constituée d'une seule unité par phase, les différences de capacité devraient être aussi faibles que possible.

Si des groupes d'unités sont montés en série, celles-ci doivent être choisies de manière à obtenir les différences de capacité les plus faibles possibles entre les différents groupes.

## 20. Température de service

20.1 Les caractéristiques nominales des condensateurs tiennent compte des températures ambiantes maximales et minimales spécifiées au paragraphe 1.2. Les températures maximales sont valables à condition que l'évacuation de la chaleur produite par les pertes diélectriques soit convenable. A cet égard, les considérations suivantes sont importantes :

- a) La disposition des condensateurs unitaires doit se faire de manière à assurer une bonne circulation d'air autour de toutes les unités. Ceci s'applique spécialement au cas où les unités sont disposées en rangées superposées.
- b) Si les unités sont placées dans une salle ou dans une enceinte, une bonne circulation d'air doit être assurée.
- c) La température des condensateurs est plus élevée lorsqu'ils sont exposés au rayonnement du soleil ou de toute autre surface à haute température. Suivant la valeur de la température ambiante, l'intensité et la durée du rayonnement, il peut être nécessaire de protéger les condensateurs contre ce rayonnement ou encore d'utiliser des condensateurs de tension nominale  $U_n$  plus élevée, ou construits spécialement.

20.2 Les températures maximale et minimale admissibles en un point donné de la cuve doivent être indiquées par le constructeur et, si possible, la température à ce point devrait être contrôlée de temps en temps par l'utilisateur.

20.3 Quand les condensateurs doivent être placés à l'extérieur, la plus basse température ambiante prévue doit être indiquée par l'acheteur.

Lorsque cette température est inférieure à  $-10^{\circ}\text{C}$ , des difficultés peuvent se présenter lors de la mise sous tension d'un condensateur ayant atteint cette température. Dans ce cas, des condensateurs imprégnés spécialement doivent être utilisés ou bien il faut prendre des dispositions spéciales telles que le chauffage préalable des condensateurs avant leur mise sous tension.

## 21. Appareillage de protection et de coupure

### 21.1 Dispositif de protection contre les surtensions

Deux systèmes d'éclateurs connectés en parallèle avec un condensateur-série sont utilisés pour en assurer la protection contre les surtensions :

- A — Eclateurs à arc continu
- B — Eclateurs à arc répété (éclateur à auto-extinction).

On admet pour ces deux catégories le comportement suivant :

#### Type A

Lorsque l'éclateur s'est amorcé par suite d'un courant de ligne excessif, un arc est maintenu jusqu'au moment où la tension du condensateur est réduite à zéro, soit par la coupure de la ligne, soit par l'encenchement d'un dispositif court-circuitant le condensateur.

This may give rise to undesirable effects in transformers and other apparatus. If the neutral is earthed, earth currents may occur. For given capacitance differences the resulting voltage differences depend on the characteristics of the circuit. Sub-clause 8.2 allows a difference between the phase capacitances of 10 per cent. However, for the reasons mentioned it is recommended to make the capacitance differences as small as possible. In banks consisting of many units this can be easily attained by distributing the units suitably over the phases. In small banks consisting of one unit per phase the capacitance differences should be as low as practicable.

If capacitor units, or groups of units, are connected in series, they should also be so arranged as to have the smallest possible capacitance differences between the sections connected in series.

## 20. Operating temperature

20.1 Capacitor ratings are based on the maximum and minimum ambient temperatures specified in Sub-clause 1.2. The maximum temperatures are valid under the condition of adequate dissipation and convection of the heat produced by the capacitor losses. In this respect the following points are important:

- a) The arrangement of the capacitor units shall provide good air circulation around each unit. This is of special importance for units mounted in rows above each other.
- b) If the units are placed in a room or in an enclosure, good air circulation shall be provided.
- c) The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun, or from any surface at a high temperature, will be increased. Depending upon the ambient temperature and the intensity and duration of the radiation, it may be necessary to protect the capacitors from radiation or to employ capacitors with a higher rated voltage  $U_n$  or otherwise suitably designed.

20.2 The maximum and minimum permissible temperatures at a given point on the container shall be specified by the manufacturer. Where possible, the operating temperature should be checked by the user from time to time.

20.3 If capacitors are to be installed outdoors, the lowest ambient temperature to be expected shall be specified by the purchaser.

If this temperature is below  $-10^{\circ}\text{C}$ , difficulties may arise when energizing a capacitor cooled down to this temperature. To avoid these difficulties, either capacitors having a suitable low-temperature impregnant shall be used or special arrangements shall be made such as for pre-heating of the capacitors before they are energized.

## 21. Protective and switching devices

### 21.1 Capacitor overvoltage protector

Two categories of safety gaps for by-passing a series capacitor are used in overvoltage protectors:

- A — Gaps with sustained arc
- B — Gaps with repetitive arc (self-extinguishing gaps).

The following performance is assumed for these two categories:

#### *Type A*

If the gap breaks down due to an excessive line current, an arc is sustained until the voltage is removed from the capacitor either by de-energizing the line or by closing a by-pass switch.

Pendant le fonctionnement de l'éclateur, la tension du condensateur est limitée à une valeur qui ne devrait pas dépasser la tension nominale  $U_n$ . Pour chaque fonctionnement de l'éclateur, le condensateur est soumis à une décharge transitoire.

Le courant de décharge devrait être limité par des moyens appropriés à une valeur ne dépassant pas 100 fois le courant nominal du condensateur. L'amortissement des oscillations de décharge devrait être telle que chaque amplitude du courant de décharge ne dépasse pas la moitié de l'amplitude précédente de même polarité.

### *Type B*

Dans l'appareil des moyens de soufflage pneumatique ou magnétique sont prévus qui éteignent l'arc au passage à zéro du courant et ainsi l'amorçage de l'éclateur se produit pendant toute la durée du défaut sur la ligne. Pour que l'extinction de l'éclateur soit définitive, il n'est pas nécessaire de couper la ligne ou d'enclencher un dispositif court-circuitant le condensateur. Pour cette raison, on choisira souvent un niveau d'amorçage plus bas que dans le cas des éclateurs du type A. Cependant, pendant le fonctionnement de l'éclateur, le condensateur peut être soumis à des tensions plus élevées par rapport à la tension d'amorçage initiale que dans le cas du type A et en outre à des décharges répétées. En conséquence, la valeur de crête du courant de décharge ne devrait pas dépasser 25 fois le courant nominal du condensateur. Pour l'amortissement du courant de décharge, les mêmes observations sont valables que pour l'éclateur du type A.

Le choix entre les types A et B dépend de la valeur de la puissance de la batterie de condensateurs série, de l'amplitude des courants de défauts prévus et de la probabilité avec laquelle ils se produisent, de la stabilité et de la configuration du réseau, des facilités d'entretien et d'examen et de considérations économiques.

### *21.2 Autre appareillage*

Pour les grandes batteries de condensateurs, un dispositif devrait être prévu pour court-circuiter les condensateurs dans le cas d'un fonctionnement prolongé de l'éclateur de sécurité ou dans le cas de surtensions prolongées d'une valeur insuffisante pour que l'éclateur s'amorce (pour les limites voir paragraphe 15.1). De telles surtensions peuvent être produites par des surcharges ou par des oscillations hyposynchrones dans le réseau (voir article 22). L'enclenchement du dispositif de court-circuit peut être effectué par exemple par un relais de tension temporisé selon une fonction inverse du temps. Le courant de décharge à travers le dispositif de court-circuit devrait être limité à la même valeur que celle prévue pour les éclateurs de sécurité (paragraphe 21.1).

Pendant son ouverture, l'interrupteur de shuntage doit être capable de transmettre le courant de ligne au condensateur même dans des conditions où des réamorçages répétés se produiraient.

Pour l'examen et l'entretien des grandes batteries, il faut prévoir des sectionneurs permettant de séparer la batterie de la ligne sans qu'il soit nécessaire de couper cette dernière.

Afin d'éviter des surtensions permanentes aux bornes de certains condensateurs à la suite du claquage de condensateurs unitaires, on peut prévoir une protection différentielle dans chaque phase.

## **22. Phénomènes perturbateurs éventuels**

22.1 La fréquence propre d'un réseau contenant des batteries importantes de condensateurs-série est généralement plus faible que la fréquence de service. Il peut donc se produire dans certaines conditions des phénomènes de résonance à des fréquences hyposynchrones. La probabilité de l'apparition de tels phénomènes dépendant de plusieurs conditions, chaque cas devra être étudié séparément.

### *22.2 Ferro-résonance*

Ce phénomène peut se présenter lorsqu'un transformateur est enclenché à vide sur un réseau dont la charge est faible et où les condensateurs-série sont raccordés. Par suite des phénomènes