

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

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

**RAPPORT DE LA C.E.I.**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**I.E.C. REPORT**

**Publication 146**

Première édition — First edition

1963

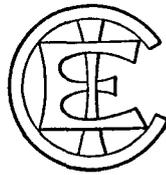
---

**Cellules, éléments, assemblages et groupes redresseurs  
semiconducteurs monocristallins**

---

**Monocrystalline semiconductor rectifier cells, stacks,  
assemblies and equipments**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60746:1963

# Withdrawn

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

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

**RAPPORT DE LA C.E.I.**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**I.E.C. REPORT**

**Publication 146**

Première édition — First edition

1963

---

**Cellules, éléments, assemblages et groupes redresseurs  
semiconducteurs monocristallins**

---

**Monocrystalline semiconductor rectifier cells, stacks,  
assemblies and equipments**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE . . . . .	4
PREFACE . . . . .	4
100 <i>Généralités</i> . . . . .	6
105 <i>Domaine d'application</i> . . . . .	6
110 <i>Note</i> . . . . .	6
120 <i>Termes généraux</i> . . . . .	6
130 <i>Termes et définitions électriques et physiques</i> . . . . .	14
140 <i>Désignation des enroulements de transformateur</i> . . . . .	22
160 <i>Termes relatifs à la variation de tension</i> . . . . .	22
165 <i>Caractéristiques du réseau à courant alternatif</i> . . . . .	26
175 <i>Conditions de service</i> . . . . .	28
180 <i>Exécution des essais</i> . . . . .	30
185 <i>Liste des principaux symboles</i> . . . . .	32
200 <i>Cellules et éléments</i> . . . . .	34
210 <i>Conditions de service</i> . . . . .	34
220 <i>Caractéristiques nominales</i> . . . . .	38
225 <i>Tension inverse nominale</i> . . . . .	42
230 <i>Indications à fournir</i> . . . . .	44
240 <i>Marquage</i> . . . . .	44
250 <i>Essais</i> . . . . .	46
300 <i>Transformateurs et inductances</i> . . . . .	56
310 <i>Généralités</i> . . . . .	56
330 <i>Essais</i> . . . . .	56
340 <i>Pertes et chutes de tension dans les transformateurs et inductances</i> . . . . .	58
350 <i>Essais d'isolement</i> . . . . .	68
360 <i>Essais d'échauffement des transformateurs</i> . . . . .	68
370 <i>Plaque signalétique</i> . . . . .	76
400 <i>Groupes et assemblages redresseurs</i> . . . . .	78
420 <i>Couplages et facteurs pour les calculs</i> . . . . .	78
430 <i>Caractéristiques nominales</i> . . . . .	80
440 <i>Indication des pertes ou du rendement, du facteur de puissance et de la variation de tension</i> . . . . .	84
450 <i>Prescriptions relatives au fonctionnement</i> . . . . .	90
460 <i>Plaque signalétique</i> . . . . .	92
470 <i>Essais</i> . . . . .	96
480 <i>Protection</i> . . . . .	104
500 <i>Tolérances éventuelles</i> . . . . .	108
ANNEXE A . . . . .	110

## CONTENTS

	Pages
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
100 <i>General</i> . . . . .	7
105 Scope . . . . .	7
110 Note . . . . .	7
120 General terms . . . . .	7
130 Electrical and physical terms and definitions . . . . .	15
140 Designation of transformer windings . . . . .	23
160 Terms used in connection with voltage regulation . . . . .	23
165 A.C. system conditions . . . . .	27
175 Service conditions . . . . .	29
180 Performance of tests . . . . .	31
185 List of principal symbols . . . . .	33
200 <i>Cells and stacks</i> . . . . .	35
210 Service conditions . . . . .	35
220 Ratings . . . . .	39
225 Rated reverse voltages . . . . .	43
230 Declaration of data . . . . .	45
240 Marking . . . . .	45
250 Tests . . . . .	47
300 <i>Transformers and reactors</i> . . . . .	57
310 General . . . . .	57
330 Tests . . . . .	57
340 Losses and voltage drops in the transformer and reactors . . . . .	59
350 Insulation tests . . . . .	69
360 Transformer temperature-rise tests . . . . .	69
370 Rating plate . . . . .	77
400 <i>Rectifier equipments and assemblies</i> . . . . .	79
420 Electrical connections and calculation factors . . . . .	79
430 Ratings . . . . .	81
440 Declaration of losses or efficiency, power-factor and regulation . . . . .	85
450 Performance requirements . . . . .	91
460 Rating plate . . . . .	93
470 Tests . . . . .	97
480 Protection . . . . .	105
500 <i>Tolerances, if any</i> . . . . .	109
APPENDIX A . . . . .	111

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CELLULES, ÉLÉMENTS, ASSEMBLAGES ET GROUPES  
REDRESSEURS SEMICONDUCTEURS MONOCRISTALLINS**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Études 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.
- 5) La C.E.I. n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

PRÉFACE

Le premier projet du présent rapport a été discuté en 1957 à Moscou par le Comité d'Études N° 22 et le Sous-Comité 22-2. Les discussions se sont poursuivies lors des réunions tenues à Ludvika et à Stockholm en 1958 et à Paris en 1959. A la suite de la réunion de Paris, un projet définitif a été soumis aux Comités nationaux en janvier 1961, pour approbation suivant la Règle des Six Mois.

Les 18 pays suivants ont voté explicitement en faveur de la publication de ce rapport :

Allemagne	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
États-Unis d'Amérique	Suède
France	Suisse
Inde	Tchécoslovaquie
Italie	Turquie
Japon	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Aucun pays n'a voté contre l'approbation.

Les observations présentées par l'Allemagne, les États-Unis, la France, le Japon, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Suisse, la Tchécoslovaquie et l'U.R.S.S. ont été prises en considération par le Secrétariat, pour autant qu'elles ne changent pas le sens du texte approuvé par le Comité d'Études N° 22. Les autres observations seront examinées à l'occasion de la première révision du présent rapport prévue dans quelques années.

*Note du Secrétariat*

Pendant que ce rapport était soumis à la Règle des Six Mois, le Comité National Britannique a fait remarquer que la méthode d'essai prévue à l'article 472.2 pour la mesure des pertes peut amener des erreurs considérables dans certaines circonstances, spécialement dues aux réactances de fuite dans les connexions monophasées.

Le Comité National Britannique a proposé d'utiliser dans les cas de connexions monophasées une méthode basée sur celle qui est indiquée pour la mesure de la chute de tension dans l'arc, dans la Publication 84 de la CEI: «Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure.»

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MONOCRYSTALLINE SEMICONDUCTOR RECTIFIER CELLS,  
STACKS, ASSEMBLIES AND EQUIPMENTS**

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 recognized 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.
- 5) The I.E.C. has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

The first draft of the present Report was discussed in 1957 in Moscow by Technical Committee No. 22 and its Sub-Committee 22-2. Further discussions took place at the meetings held in Ludvika and Stockholm, 1958, and in Paris, 1959. As a result of the Paris meeting, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1961.

The following 18 countries voted explicitly in favour of publication of this Report:

Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Czechoslovakia	Romania
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
India	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America

No country voted against approval.

The comments submitted by Czechoslovakia, France, Germany, Japan, Netherlands, Switzerland, United Kingdom, U.S.A. and U.S.S.R. have been taken into consideration by the Secretariat in so far as they do not change the meaning of the text approved by Technical Committee No. 22. The remaining comments will be considered on the occasion of the first revision of the present Report foreseen within a few years.

*Note by the Secretariat*

When this Report was considered under the Six Months' Rule, the British National Committee pointed out that the method of power loss measurement given below in Clause 472.2 may under some circumstances (especially in single-way connections, due to leakage reactances) suffer from serious errors.

The British National Committee proposed that for single-way connections a method should be used which is based on that given for arc voltage drop measurements in I.E.C. Publication 84: Recommendations for Mercury-arc Convertors.

## 100 GÉNÉRALITÉS

### 105 Domaine d'application du rapport

Le présent rapport s'applique aux cellules redresseuses du type à semiconducteur monocristallin, telles que celles au germanium et au silicium, et actuellement, uniquement aux diodes destinées à fonctionner sur des réseaux à courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 2 000 Hz et fournissant du courant continu sous des tensions ne dépassant pas 5 000 V. Il s'applique aux groupes et assemblages redresseurs d'une puissance nominale par cellule égale ou supérieure à 10 W. Le rapport ne s'applique pas aux cellules ou éléments redresseurs utilisés dans des appareils de télécommunications, autres que ceux alimentant en énergie ces appareils, ni aux cellules ou éléments redresseurs utilisés comme auxiliaires d'appareils de mesure.

Ce rapport s'applique également aux dispositifs semiconducteurs commandés et à ceux à caractéristiques asservies destinés à être utilisés dans les convertisseurs de puissance. Ce rapport doit les englober dans la mesure actuellement applicable; il sera étendu de façon à les englober en détail à une date ultérieure.

Pour les petits matériels de ces catégories dans lesquels on utilisait précédemment des cellules polycrystallines, les recommandations pour ces groupes redresseurs sont applicables s'il y a lieu.

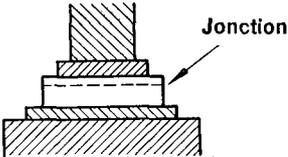
### 110 Note

Les termes, définitions, symboles, etc. adoptés dans ce document sont, dans toute la mesure du possible, conformes aux publications spéciales de la C.E.I. dans le domaine des termes, définitions, symboles, etc. En cas contraire, ils ne doivent pas être considérés comme des recommandations officielles de la C.E.I., mais uniquement comme un moyen de faciliter la compréhension du présent document.

Pour les autres termes et définitions dans ce domaine et ne figurant pas ci-dessous, se reporter au Vocabulaire Electrotechnique International de la C.E.I.

### 120 Termes généraux

#### 121 Termes physiques relatifs aux éléments constituants et assemblages

Termes	Exemples
<p>121.1 <i>Jonction redresseuse</i></p> <p>Dans une matière semiconductrice monocristalline, jonction qui présente une conductibilité dissymétrique suivant la polarité de la tension qui lui est appliquée.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a rectifier junction. It consists of a central layer with diagonal hatching, sandwiched between two other layers. This central layer is further divided into two sub-layers by a dashed line. An arrow points to the interface between the central hatched layer and the layer below it, which is labeled 'Jonction'.</p>

**100 GENERAL**

**105 Scope of this report**

This Report applies to rectifier cells of the monocrystalline semiconductor type, for example, germanium and silicon, at present only to power diodes for operation at a.c. supplies and frequencies between 15 Hz (c/s) and 2 000 Hz (c/s), and for d.c. power for voltages not exceeding 5 000 V. It applies to rectifier equipments and assemblies having a rated output per cell of 10 W and above. The Report does not apply to rectifier cells or stacks for use in telecommunication apparatus other than for power supplied to such apparatus, nor does it include rectifier cells or stacks used as auxiliaries of measuring instruments.

This Report also applies to controlled semiconductor devices and those having trigger characteristics for use for power conversion. This Report shall cover them as far as applicable now and will be expanded to include them in detail at a later date.

For small equipments of such kinds where polycrystalline cells were previously used, the recommendations for such rectifier equipments are to be used where applicable.

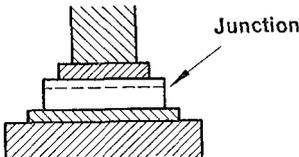
**110 Note**

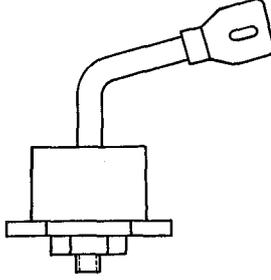
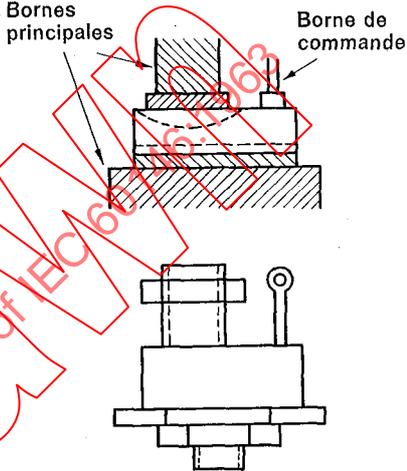
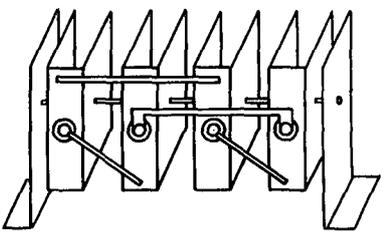
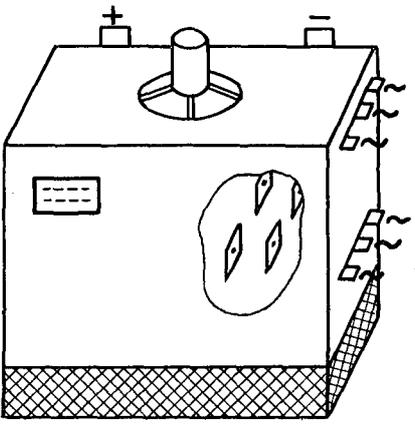
The terms, definitions, symbols, etc., adopted in this Report conform as closely as possible with the special I.E.C. Publications on terms, definitions, symbols etc. Where this is not so they are not to be regarded as official Recommendations of the I.E.C. but only as an aid to clarifying the present document.

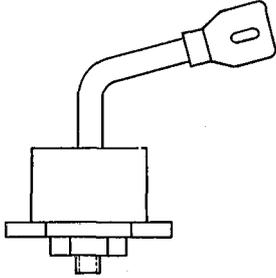
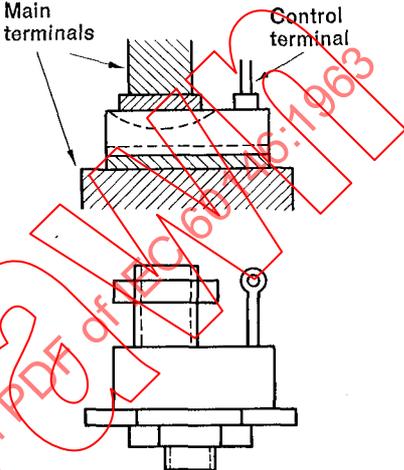
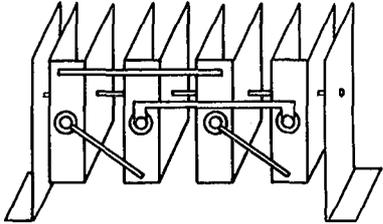
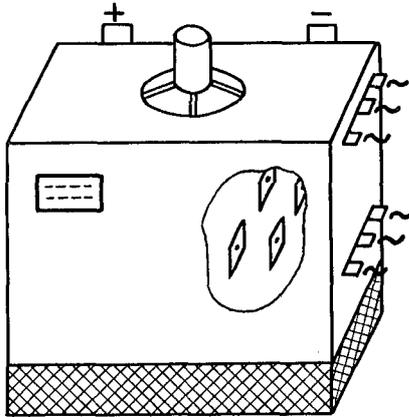
For other terms and definitions in this field, not included below, see the International Electro-technical Vocabulary of the I.E.C.

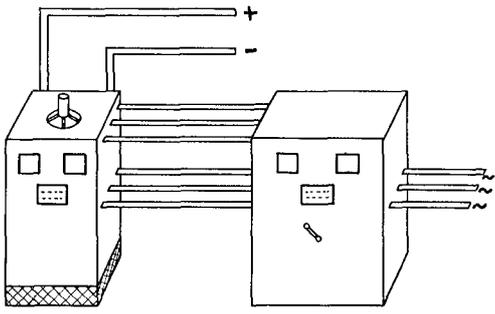
**120 General terms**

**121 Physical terms relating to components and assemblies**

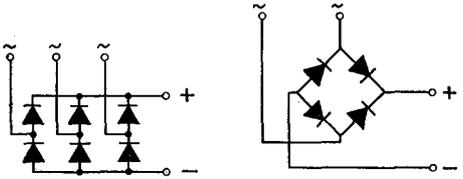
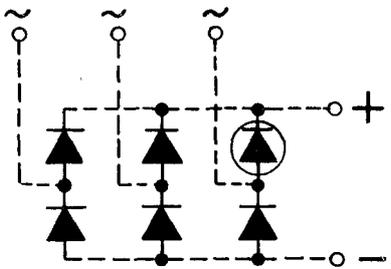
Terms	Examples
<p>121.1 <i>Rectifier junction</i></p> <p>A junction in a single crystal semiconductor material which presents an asymmetrical conductivity according to the polarity of the voltage applied to it.</p>	

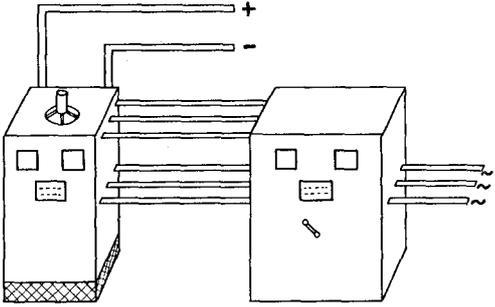
Termes	Exemples
<p>121.2 <i>Cellule redresseuse ( Diode redresseuse )</i></p> <p>Dispositif redresseur élémentaire, consistant en une ou plusieurs jonctions redresseuses, présentant une conductibilité dissymétrique, complet dans son enveloppe et muni de moyens de refroidissement si ceux-ci en constituent une partie intégrante.</p> <p><i>Note.</i> — Dans le présent rapport ce terme est abrégé en « cellule ».</p>	
<p>121.3 <i>Cellule redresseuse commandée</i></p> <p>Cellule redresseuse avec une ou plusieurs jonctions redresseuses et dont la conductibilité peut être commandée par des signaux électriques reçus par une ou plusieurs bornes de commande.</p> <p><i>Note.</i> — Les cellules redresseuses commandées par des moyens non électriques, par exemple lumineux ou à champ magnétique, ne sont pas comprises.</p>	
<p>121.4 <i>Elément redresseur</i></p> <p>Groupement unitaire d'une ou plusieurs cellules redresseuses avec le ou les dispositifs de montage correspondants, organes de refroidissement, s'il en existe, et moyens de raccordement électriques ou mécaniques.</p>	
<p>121.5 <i>Assemblage d'éléments redresseurs</i></p> <p>Assemblage électrique et mécanique de cellules ou éléments, complet avec tous ses moyens de raccordement ainsi que les moyens de refroidissement, s'il en existe, compris dans son enveloppe mécanique.</p>	

Terms	Examples
<p>121.2 <i>Rectifier cell (Rectifier diode)</i></p> <p>The elementary rectifying device, consisting of one or more rectifier junctions which presents an asymmetrical conductivity, complete in its envelope, and with cooling means if integral with it.</p> <p><i>Note.</i> — In this Report this term is abbreviated as "cell".</p>	 <p>A diagram of a single rectifier cell. It features a cylindrical body with a cooling fin on top and a terminal on the side. A cable is connected to the terminal.</p>
<p>121.3 <i>Controlled rectifier cell</i></p> <p>A rectifier cell with one or more rectifier junctions, the conductivity of which may be controlled by electrical signals supplied to one or more control terminals.</p> <p><i>Note.</i> — Rectifier cells, controlled by non-electrical means, for instance light or magnetic field, are not included.</p>	 <p>A diagram of a controlled rectifier cell. It shows a cross-section of the cell with labels for "Main terminals" and "Control terminal". The control terminal is connected to a control circuit.</p>
<p>121.4 <i>Rectifier stack</i></p> <p>A single structure of one or more rectifier cells with its (their) associated mounting(s), cooling attachments, if any, and connections whether electrical or mechanical.</p>	 <p>A diagram of a rectifier stack. It consists of multiple rectifier cells mounted on a common structure, with cooling fins and electrical connections.</p>
<p>121.5 <i>Rectifier assembly</i></p> <p>An electrically and mechanically combined assembly of cells or stacks, complete with all its connections, together with means for cooling, if any, in its own mechanical structure.</p>	 <p>A diagram of a rectifier assembly. It shows a rectangular mechanical housing with a cooling fan on top, electrical terminals on the side, and a mesh cooling structure at the bottom.</p>

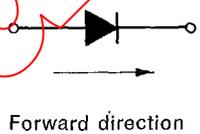
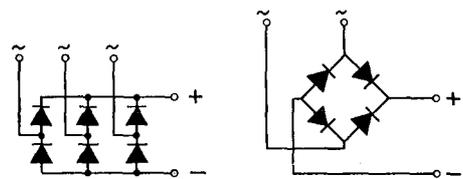
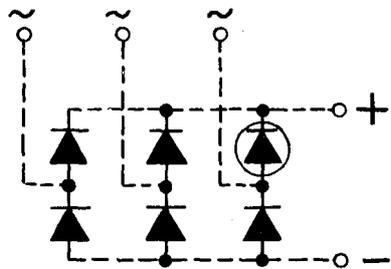
Termes	Exemples
<p>121.6 <i>Groupe redresseur</i></p> <p>Ensemble d'utilisation comprenant un ou plusieurs assemblages d'éléments redresseurs ainsi que des transformateurs, organes essentiels de coupure et autres accessoires, s'il en existe, destiné à la conversion du courant alternatif en courant continu.</p>	

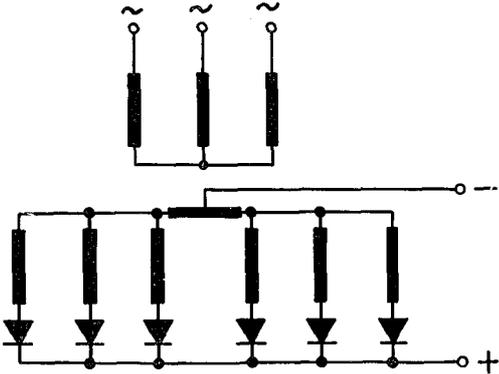
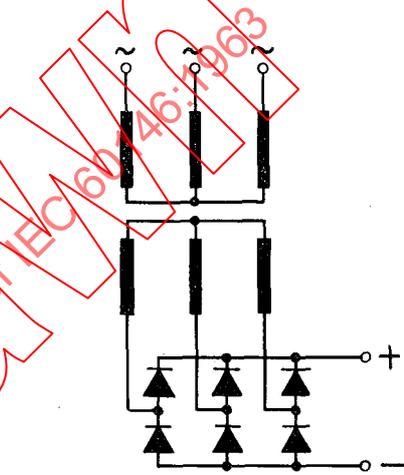
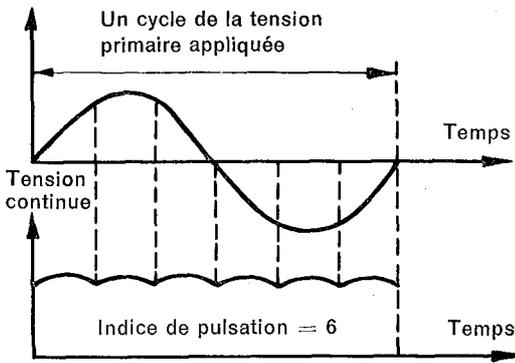
**122 Termes utilisés en relation avec les schémas de circuits**

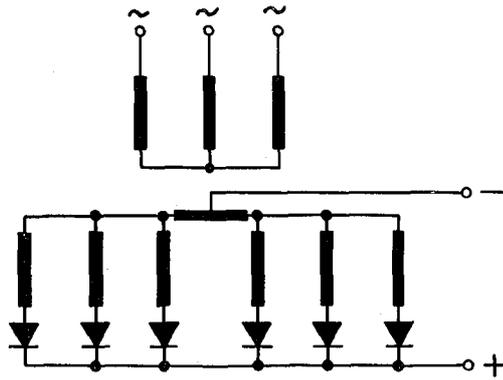
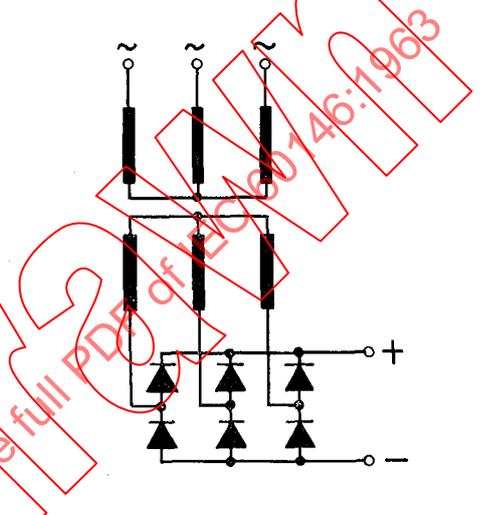
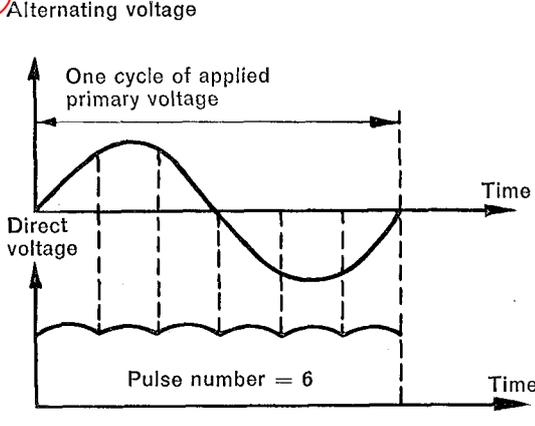
Termes	Exemples
<p>122.1 <i>Soupape</i></p> <p>Élément de circuit limité par une borne positive et une borne négative et caractérisé par le fait qu'il ne laisse passer effectivement le courant que dans un seul sens.</p> <p><i>Note.</i> — Dans la pratique, une soupape peut être constituée soit d'une cellule, soit de plusieurs cellules reliées en série, en parallèle, ou en série-parallèle. Ceci revient à dire que l'élément constituant correspondant peut être une partie ou l'ensemble d'un élément redresseur ou d'un assemblage d'éléments redresseurs.</p>	 <p>Sens direct</p>
<p>122.2 <i>Montage redresseur</i></p> <p>Mode de connexion d'une ou plusieurs soupapes en vue de la conversion du courant alternatif en courant continu.</p>	
<p>122.3 <i>Branche d'un montage redresseur</i></p> <p>Une des soupapes d'un montage redresseur.</p>	

Terms	Examples
<p>121.6 <i>Rectifier equipment</i></p> <p>An operative assembly comprising one or more rectifier assemblies, together with transformers, essential switching devices and other auxiliaries, if any, for the conversion of alternating current into direct current.</p>	

**122 Terms used in connection with circuit diagrams**

Terms	Examples
<p>122.1 <i>Rectifying element (rectifier circuit element)</i></p> <p>A circuit element bounded by one positive and one negative terminal, and having the characteristic of conducting current effectively in only one direction.</p> <p><i>Note.</i> — In practice, a rectifying element can be derived from one cell, or a number of cells interconnected in either a series, a parallel, or a series-parallel arrangement. That means that the corresponding component may be either the part or the whole of a stack or a stack assembly.</p>	
<p>122.2 <i>Rectifier connection</i></p> <p>A method of connecting one or more rectifying elements for the conversion of alternating current into direct current.</p>	
<p>122.3 <i>Arm of a rectifier connection</i></p> <p>One rectifying element of a rectifier connection.</p>	

Termes	Exemples
<p>122.4 <i>Montage à simple voie</i></p> <p>Mode de connexion dans lequel chacune des bornes de phase du circuit de courant alternatif ou chacun des enroulements côté cellule du transformateur n'est relié qu'à une borne d'une seule branche d'un montage redresseur.</p>	
<p>122.5 <i>Montage à deux voies</i></p> <p>Mode de connexion dans lequel chacune des bornes de phase du circuit de courant alternatif ou chacun des enroulements côté cellule du transformateur est relié à une connexion réunissant 2 branches d'un montage redresseur, les 2 branches étant reliées à des bornes de polarité opposée</p>	
<p>122.6 <i>Indice de pulsation p</i></p> <p>Caractéristique d'un montage de convertisseur exprimée par le nombre de commutations non simultanées se produisant au cours d'un cycle dans le convertisseur.</p>	<p>Tension alternative</p> 
<p>122.7 <i>Indice de commutation q</i></p> <p>Nombre de commutations se produisant au cours d'une période dans chaque groupe commutant.</p>	

Terms	Examples
<p>122.4 <i>Single-way connection</i></p> <p>A method of connection such that each of the phase terminals of the a.c. circuit or of the transformer cell windings is connected only to one terminal of one arm of a rectifier connection.</p>	
<p>122.5 <i>Double-way connection</i></p> <p>A method of connection such that each of the phase-terminals of the a.c. circuit or of the transformer cell windings, is connected to an interconnection of two arms of a rectifier connection, the two arms interconnected with terminals of opposite polarity.</p>	
<p>122.6 <i>Pulse number <math>p</math></i></p> <p>A characteristic of a converter connection expressed as the number of non-simultaneous commutations occurring during one cycle in the converter.</p>	<p>Alternating voltage</p> 
<p>122.7 <i>Commutating number <math>q</math></i></p> <p>The number of commutations occurring during one cycle in each commutating group.</p>	

### 130 Termes et définitions électriques et physiques

#### 131 Termes relatifs aux cellules redresseuses.

##### 131.1 Sens direct

Sens pour lequel une cellule redresseuse possède la conductance la plus élevée.

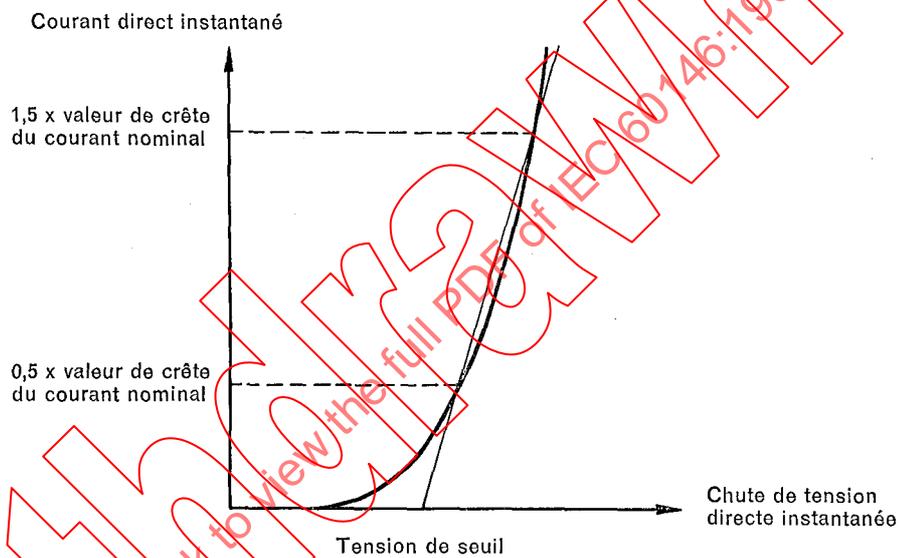
##### 131.2 Chute de tension directe

Chute de tension qui résulte du passage du courant dans le sens direct.

##### 131.3 Tension de seuil $U_{th}$

Valeur de la chute de tension directe obtenue au point de rencontre avec l'axe des abscisses d'une droite représentant approximativement la caractéristique tension-courant direct de la cellule.

*Note.* — Il est recommandé de prendre pour représentation approximative la droite qui coupe la caractéristique tension-courant de la cellule aux points ayant pour abscisses 0,5 et 1,5 fois la valeur de crête du courant nominal spécifié à l'article 223.



##### 131.4 Résistance différentielle $r_d$

Valeur de la résistance directe, calculée à partir de la pente de la droite utilisée pour déterminer la tension de seuil.

*Note.* — La tension de seuil et la résistance différentielle dépendent toutes deux de la température.

##### 131.5 Sens inverse

Sens dans lequel une cellule redresseuse a la conductance la plus faible.

##### 131.6 Courant inverse

Courant passant dans le sens inverse d'une cellule redresseuse.

##### 131.7 Courant direct

Courant passant dans le sens direct d'une cellule redresseuse.

#### 132 Caractéristiques électriques des soupapes

##### 132.1 Chute de tension directe instantanée

Valeur instantanée de la chute de tension directe (paragraphe 131.2) d'une soupape pour un courant direct donné.

### 130 Electrical and physical terms and definitions

#### 131 Terms relating to rectifier cells

##### 131.1 Forward direction

The direction in which a rectifier cell has the higher conductance.

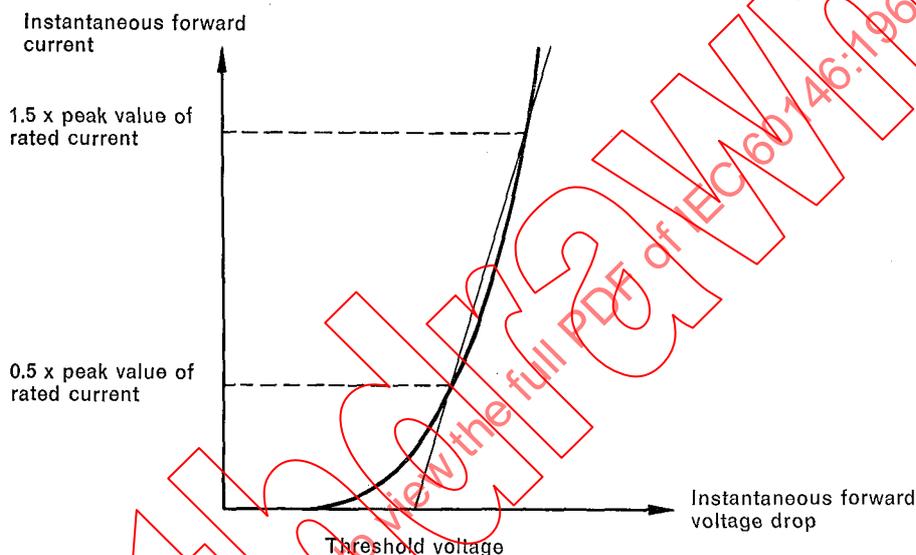
##### 131.2 Forward voltage drop

The voltage drop which results from the flow of current in the forward direction.

##### 131.3 Threshold voltage $U_{th}$

The value of the forward voltage drop obtained at the intersection with the axis for zero current of a straight line, approximating the forward voltage-current characteristic of the cell.

*Note.* — A recommended approximation is a straight line, crossing the voltage current characteristic of the cell at 0.5 and 1.5 times peak value of rated current as specified in Clause 223.



##### 131.4 Differential resistance $r_t$

The value of forward resistance, calculated from the slope of the straight line, used when determining the threshold voltage.

*Note.* — Both threshold voltage and differential resistance are temperature dependent.

##### 131.5 Reverse direction

The direction in which a rectifier cell has the lower conductance.

##### 131.6 Reverse current

The current which flows in the reverse direction of a rectifier cell.

##### 131.7 Forward current

The current which flows in the forward direction of a rectifier cell.

#### 132 Electrical characteristics of rectifying elements

##### 132.1 Instantaneous forward voltage drop

The instantaneous value of forward voltage drop (Sub-clause 131.2) of a rectifying element at a given forward current.

132.2 *Chute de tension directe moyenne*  $U_a$  (moyenne d'un cycle complet)  
 Valeur moyenne arithmétique, pendant un cycle complet d'une forme d'onde spécifiée, de la chute de tension directe (paragraphe 131.2) d'une soupape.

132.3 *Chute de tension de conduction directe moyenne*  
 Valeur moyenne arithmétique, pendant une période de conduction directe de forme d'onde spécifiée, de la chute de tension directe (paragraphe 131.2) d'une soupape.

132.4 *Courant inverse instantané*  
 Valeur instantanée du courant (paragraphe 131.6) pour une tension inverse donnée.

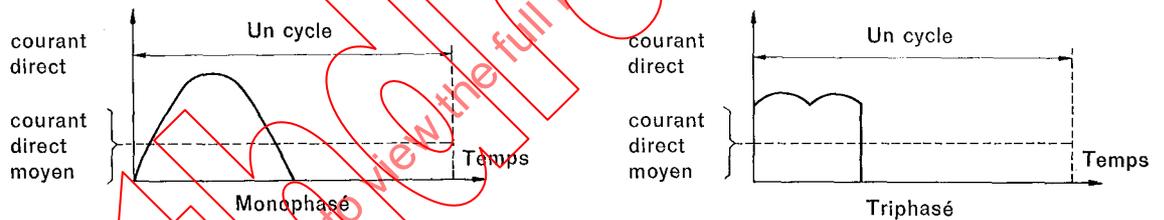
132.5 *Courant inverse moyen*  
 Valeur moyenne arithmétique, pendant un cycle complet avec une valeur et une forme d'onde caractérisant la tension appliquée, du courant inverse (paragraphe 131.6) passant par une soupape.

**133 Conditions de fonctionnement du circuit qui agissent sur les soupapes**

133.1 *Sens direct*

133.1.1 *Courant direct moyen*  $I_a$

Valeur moyenne arithmétique pendant un cycle complet du courant en sens direct d'une soupape, à l'exclusion du courant inverse.



*Note.* — Les valeurs nominales du courant direct pour les cellules et éléments sont attribuées par le constructeur conformément à l'article 223.

133.2 *Sens inverse*

133.2.1 *Tension de crête inverse effective*  $U_r$

Valeur de crête de la tension du circuit appliquée aux bornes de la cellule ou de la soupape en sens inverse, à l'exclusion des surtensions oscillatoires récurrentes dues à la commutation (paragraphe 133.2.2) et des surtensions transitoires occasionnelles (paragraphe 133.2.3).

133.2.2 *Tension inverse périodique maximale*  $U_{rm}$

Valeur maximale de la surtension périodique appliquée aux bornes de la cellule ou de la soupape en sens inverse, y compris les effets de circuit tels que la commutation, mais à l'exclusion des surtensions transitoires occasionnelles (article 133.2.3).

133.2.3 *Tension de crête inverse transitoire*  $U_{rt}$

Valeur de crête d'une tension de choc non périodique quelconque appliquée aux bornes de la cellule ou de la soupape en sens inverse et due à une onde transitoire occasionnelle dans le circuit.

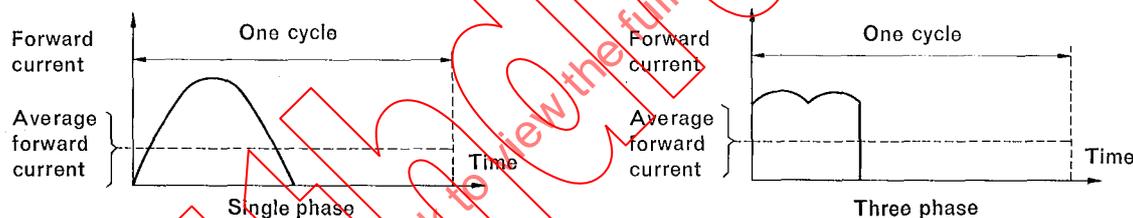
- 132.2 *Average forward voltage drop*  $U_a$  (averaged over a full cycle)  
 The average value of the forward voltage drop (Sub-clause 131.2) of a rectifying element averaged over a full cycle of specified waveshape.
- 132.3 *Average forward conduction voltage drop*  
 The average value of the forward voltage drop (Sub-clause 131.2) of a rectifying element averaged over a forward conduction period of a specified waveshape.
- 132.4 *Instantaneous reverse current*  
 The instantaneous value of reverse current (Sub-clause 131.6) at a given reverse voltage.
- 132.5 *Average reverse current*  
 The average value of reverse current (Sub-clause 131.6) through a rectifying element and averaged over a full cycle with specified magnitude and waveform of applied voltage.

### 133 Circuit operating conditions affecting rectifying elements

#### 133.1 Forward direction

##### 133.1.1 Average forward current, $I_a$

The average value of the current in the forward direction of a rectifying element, excluding the reverse current and averaged over a full cycle.



*Note.* — Forward current ratings for cells and stacks are assigned by the manufacturer in accordance with Clause 223.

#### 133.2 Reverse direction

##### 133.2.1 Crest working reverse voltage, $U_r$

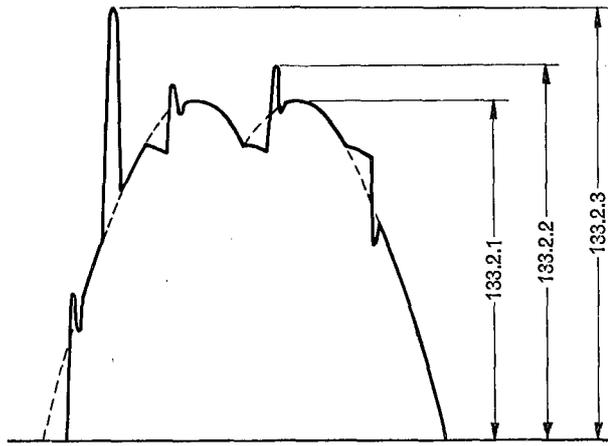
The crest value of the circuit voltage applied across the cell or rectifying element in the reverse direction, excluding recurrent oscillatory overvoltages due to commutation (Sub-clause 133.2.2) and excluding random transient overvoltages (Sub-clause 133.2.3)

##### 133.2.2 Maximum recurrent reverse voltage, $U_{rm}$

The maximum value of the periodic overvoltage impressed across the cell or rectifying element in the reverse direction including circuit effects such as commutation, but excluding random transient overvoltages (Sub-clause 133.2.3).

##### 133.2.3 Peak transient reverse voltage, $U_{rt}$

The peak value of any non-periodic surge voltage impressed across the cell or rectifying element in the reverse direction, due to a random circuit transient.



Exemple pour les paragraphes 133.2.1 à 133.2.3

- Notes 1) — La tension définie au paragraphe 133.2.1 est la valeur de crête de la tension nominale du circuit (y compris les fluctuations de la tension d'alimentation) pour le raccordement du redresseur.
- 2) — La tension définie au paragraphe 133.2.2 se produit dans un raccordement de redresseur en raison des propriétés des jonctions redresseuses en combinaison avec les constantes du circuit et dépend dans une certaine mesure de la façon dont le raccordement est conçu.
- 3) — Les causes des tensions de choc définies au paragraphe 133.2.3 ne dépendent pas habituellement du mode de réalisation de raccordement, mais ces tensions peuvent souvent être réduites si l'on prévoit des dispositifs éliminant les ondes de choc.
- 4) — Les valeurs nominales de la tension inverse pour les cellules et éléments sont attribuées par le constructeur conformément à l'article 125. Des valeurs nominales différentes pour les tensions périodiques définies par les paragraphes 133.2.1 et 133.2.2 peuvent être attribuées aux cellules et éléments dont la dissipation inverse est importante. Dans de nombreux cas, on attribue une autre valeur nominale pour la tension de choc non périodique définie au paragraphe 133.2.3.

### 134 Définitions relatives au rendement

#### 134.1 Rendement de conversion

Rapport entre le produit des valeurs moyennes arithmétiques de la tension et du courant continu et la puissance active absorbée du côté alternatif par un groupe redresseur.

#### 134.2 Rendement en puissance

Rapport entre la puissance débitée du côté continu (mesurée au wattmètre) et la puissance active absorbée du côté alternatif.

Note. — Dans le rendement de conversion, la puissance des composantes alternatives du côté continu est considérée comme une perte. Dans le rendement en puissance, elle est considérée comme une puissance utile. En conséquence, le rendement de conversion a une valeur plus faible. Pour un redresseur monophasé, deux alternances (pleine onde), le rendement de conversion maximal théorique est de 81 % en admettant que la charge est résistive.

### 135 Facteurs du côté alternatif

#### 135.1 Facteur de puissance global

$$\lambda = \frac{\text{puissance active}}{\text{puissance apparente}}$$

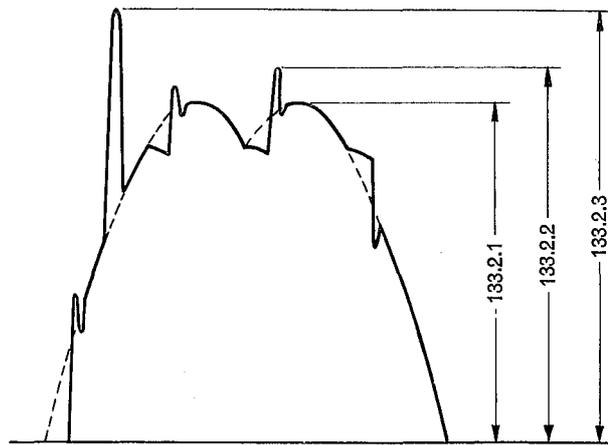


Illustration to Sub-clauses 133.2.1 to 133.2.3

- Notes* 1) — The voltage defined by Sub-clause 133.2.1 is the crest value of the nominal circuit voltage for the rectifier connections (including a.c. supply voltage variations).
- 2) — The voltage defined by Sub-clause 133.2.2 occurs in a rectifier connection due to rectifier junction properties in conjunction with circuit constants, and is to some extent under the control of the connection designer.
- 3) — The causes of surge voltages defined by Sub-clause 133.2.3 are usually outside the control of the connection designer, but these voltages may often be minimized by the provision of surge suppression components.
- 4) — Reverse voltage ratings for cells and stacks are assigned by the manufacturer in accordance with Clause 225. Cells and stacks whose reverse dissipation is significant may be assigned different rated values of the periodic voltages defined by Sub-clauses 133.2.1 and 133.2.2. In many cases a further rating will be assigned for the non-periodic surge voltage defined by Sub-clause 133.2.3.

## 134 Efficiency definitions

### 134.1 Conversion efficiency

The ratio of the product of the arithmetic mean values of d.c. voltage and direct current to the input active power on the a.c. side of a rectifier equipment.

### 134.2 Power efficiency

The ratio between the output power on the d.c. side (as measured by a wattmeter) and the input active power on the a.c. side.

*Note.* — In the conversion efficiency, the power of the a.c. components on the d.c. side is regarded as a power loss. In the power efficiency, it is regarded as a useful power. Therefore, the conversion efficiency has a lower value. For a single-phase, two pulse (full wave) rectifier, the theoretical maximum conversion efficiency is 81% assuming resistance load.

## 135 Factors on a.c. side

### 135.1 Total power-factor

$$\lambda = \frac{\text{active power}}{\text{apparent power}}$$

135.2 *Facteur de puissance de l'onde fondamentale ou facteur de déphasage*

$$\cos \varphi = \frac{\text{puissance active de l'onde fondamentale}}{\text{puissance apparente de l'onde fondamentale}}$$

135.3 *Facteur de déformation*

$$v = \frac{\lambda}{\cos \varphi}$$

### 136 Définitions relatives aux valeurs nominales

136.1 *Valeurs nominales (d'un élément, assemblage ou groupe redresseur)*

Indication de ses possibilités dans les conditions de service du présent rapport, telles qu'elles lui sont attribuées par le constructeur. Elle comprend les grandeurs énumérées et définies ci-dessous, indiquées sur la plaque signalétique ou d'une autre manière, conformément au présent rapport.

### 138 Valeurs nominales des transformateurs de redresseurs

138.1.1 *Fréquence nominale  $f_1$*

Fréquence du réseau du côté alternatif du transformateur, spécifié comme base du régime nominal.

138.1.2 *Tension nominale  $U_{L1}$  de l'enroulement côté réseau*

Tension efficace entre phases du côté réseau du transformateur, spécifiée comme base du régime nominal. Si l'enroulement côté réseau est muni de prises, la tension nominale de l'enroulement côté réseau doit se rapporter à une prise spécifiée, désignée sous le nom de prise principale.

138.1.3 *Tension nominale  $U_{V0}$  de l'enroulement côté cellule*

138.1.3.1 Pour les montages à une voie: Tension efficace à vide entre bornes de phase et de neutre de l'enroulement côté cellule (paragraphe 140.2), l'enroulement côté réseau (paragraphe 140.1) étant sous la tension nominale.

138.1.3.2 Pour les montages à deux voies: Tension efficace à vide entre bornes de phase à commutation consécutive des enroulements côté cellule d'un groupe de commutation, l'enroulement côté réseau étant sous la tension nominale.

138.1.4 *Courant nominal  $I_{L1}$  du côté réseau*

Courant efficace passant par les bornes de ligne du transformateur. Pour un matériel polyphasé, il est calculé à partir du courant continu nominal en se basant sur des courants de forme rectangulaire dans les branches du redresseur. Pour un matériel monophasé, la base du calcul fait l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur.

138.1.5 *Courant nominal  $I_{V1}$  du côté cellule*

Courant efficace passant dans chaque borne du transformateur du côté cellule. Pour un matériel polyphasé, il est calculé à partir du courant continu nominal en se basant sur des courants de forme rectangulaire dans les branches du redresseur. Pour un matériel monophasé, la base du calcul fait l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur.

138.1.6 *Puissance nominale de l'enroulement côté réseau*

Puissance apparente totale, exprimée en kVA, aux bornes côté réseau, à la fréquence nominale, sous la tension nominale côté réseau et avec le courant continu nominal du convertisseur, calculé conformément au paragraphe 138.1.4.

135.2 *Power-factor of the fundamental wave, or displacement factor*

$$\cos \varphi = \frac{\text{active power of the fundamental wave}}{\text{apparent power of the fundamental wave}}$$

135.3 *Distortion factor*

$$v = \frac{\lambda}{\cos \varphi}$$

**136 Rating definitions**

136.1 *Ratings (of a rectifier stack, assembly or equipment)*

A statement of its capabilities under the service conditions of this Report, as assigned to it by the manufacturer. It comprises the quantities listed and defined below and indicated on the rating plate or in other ways, according to this Report.

**138 Ratings for rectifier transformer**

138.1.1 *Rated frequency  $f_1$*

The frequency of the source of supply on the a.c. side of the transformer specified as the basis of rating.

138.1.2 *Rated voltage  $U_{L1}$  of line winding*

The r.m.s. voltage between lines on the line side of the transformer specified as the basis of rating. If the line winding is provided with taps, the rated voltage of the line winding shall refer to a specified tap, which is designated as the principal (rated) tap.

138.1.3 *Rated voltage  $U_{v0}$  of cell winding*

138.1.3.1 For single-way connections: The r.m.s. no load voltage between phase and neutral terminals of the cell winding (Sub-clause 140.2) at rated voltage on the line winding (Sub-clause 140.1).

138.1.3.2 For double-way connections: the r.m.s. no-load voltage between consecutive commutating phase terminals of the cell windings of a commutating group, at rated voltage on the line winding.

138.1.4 *Rated current  $I_{L1}$  on line side*

The r.m.s. current of the line terminals of the transformer. For polyphase equipment this is computed from the rated direct current on the basis of rectangular-shaped rectifier arm currents. For single-phase equipment the basis of calculation is that agreed between the purchaser and the manufacturer.

138.1.5 *Rated current  $I_{v1}$  on cell side*

The r.m.s. current in each terminal of the transformer on the cell side. For polyphase equipment this is computed from the rated direct current on the basis of rectangular-shaped rectifier arm currents. For single-phase equipment the basis of calculation is that agreed between the purchaser and the manufacturer.

138.1.6 *Rated line kVA of the transformer line side winding*

The total apparent power expressed in kVA, at the line side terminals, at rated frequency, rated line side voltage, and at rated direct current of the converter, computed in accordance with Sub-clause 138.1.4.

### 139 Valeurs nominales des groupes et assemblages redresseurs

#### 139.1 Puissance nominale débitée

Produit de la tension continue nominale par le courant continu nominal, que le dispositif peut fournir avec le cycle de service stipulé dans les conditions spécifiées dans le présent rapport et dans les limites de fonctionnement qui lui sont attribuées par le constructeur.

#### 139.2 Courant continu nominal $I_{d1}$

Courant continu spécifié comme base du régime nominal. C'est la valeur moyenne arithmétique du courant continu que le groupe ou assemblage redresseur peut supporter dans les conditions spécifiées de cycle de charge et de service.

#### 139.3 Tension continue nominale $U_{d1}$

Tension continue prise comme base du régime nominal. C'est la valeur moyenne arithmétique de la tension continue entre les bornes côté continu du groupe ou de l'assemblage redresseur parcourues par le courant continu normal.

#### 139.4 Tension nominale d'entrée

Valeur efficace de la tension entre phases du circuit de courant alternatif sur laquelle le groupe doit fonctionner et sur laquelle doivent être basées les caractéristiques de fonctionnement indiquées.

#### 139.5 Courant nominal d'entrée

Valeur efficace du courant alternatif absorbé à partir de l'alimentation en courant alternatif au courant nominal. Pour un matériel polyphasé, elle est calculée en se basant sur des courants de forme rectangulaire dans les branches du redresseur. Pour un matériel monophasé, le base du calcul fait l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur.

### 140 Désignation des enroulements de transformateur

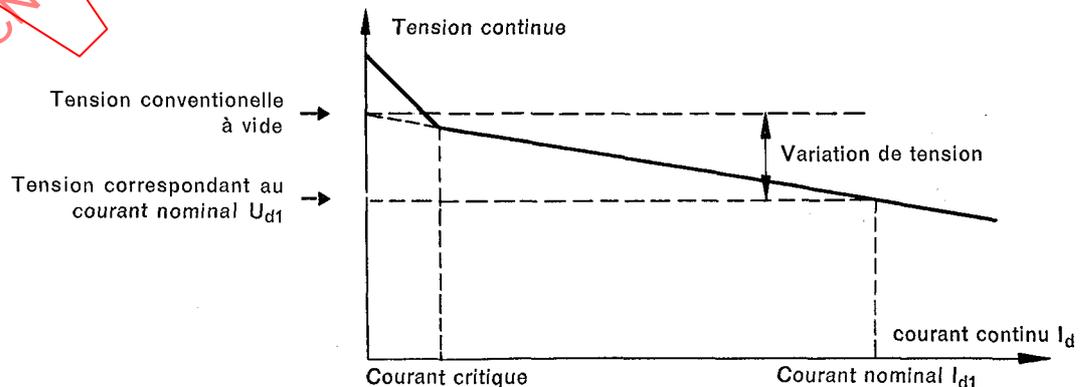
#### 140.1 Enroulements côté réseau

Enroulements qui sont directement reliés au réseau de courant alternatif.

#### 140.2 Enroulements côté cellule

Enroulements qui sont reliés aux cellules redresseuses d'un assemblage redresseur.

### 160 Termes relatifs à la variation de tension



### 139 Ratings for rectifier equipments and assemblies

#### 139.1 Rated output

The product of the rated direct voltage and the rated direct current, which the device can deliver under the specified duty cycle in the conditions stated in this Report, and within the operating limitations assigned to it by the manufacturer.

#### 139.2 Rated direct current, $I_{d1}$

The direct current specified as the basis of rating. It is the arithmetic mean value of the direct current which the rectifier equipment or assembly is capable of carrying under the specified load cycle and service conditions.

#### 139.3 Rated direct voltage, $U_{d1}$

The direct voltage as the basis of rating. It is the arithmetic mean value of the direct voltage between d.c. terminals of the rectifier equipment or assembly at rated direct current.

#### 139.4 Rated input voltage

The r.m.s. value of the voltage between lines of the a.c. circuit from which the equipment or assembly is to operate and on which the declared performance is to be based.

#### 139.5 Rated input current

The r.m.s. value of the alternating current drawn from the a.c. supply at rated current. For polyphase equipment this is computed from the rated direct current on the basis of rectangular-shaped rectifier arm currents. For single-phase equipment the basis of calculation is that agreed between the purchaser and the manufacturer.

### 140 Designation of transformer windings

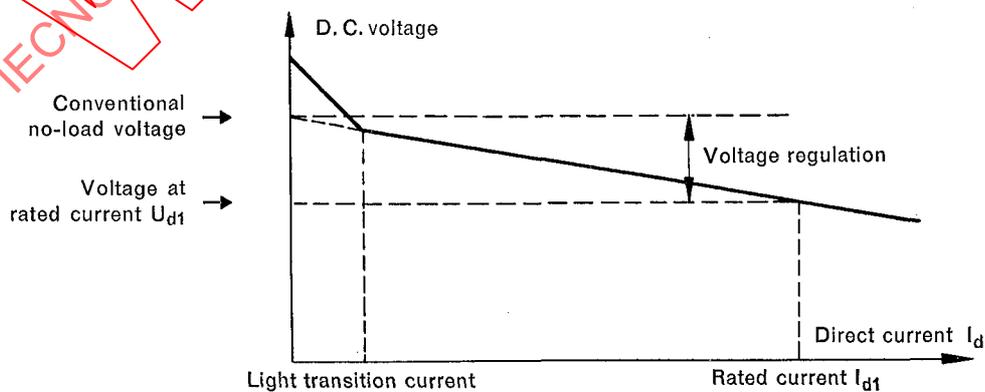
#### 140.1 Line windings

The windings which are directly connected to the a.c. source of supply.

#### 140.2 Cell windings

The windings which are connected to the rectifier cells of a rectifier assembly.

### 160 Terms used in connection with voltage regulation



160.1 *Courbe caractéristique tension-courant côté continu*

Relation existant entre les valeurs moyennes de la tension et du courant continu d'un groupe redresseur, exprimée sous forme d'une courbe pour des valeurs données de la tension et de la fréquence de l'alimentation en courant alternatif et pour une nature spécifiée de la charge.

160.2 *Tension conventionnelle à vide*

Valeur de la tension continue que l'on obtiendrait en prolongeant la courbe caractéristique tension-courant côté continu jusqu'à sa rencontre avec l'axe des ordonnées (voir figure).

160.3 *Tension continue fictive à vide*

La tension continue fictive à vide, en admettant qu'il n'y a pas de réduction due à une régulation du déphasage, de chute de tension dans les cellules, ni d'accroissement de tension pour de faibles charges, s'obtient à partir de la tension entre phase et neutre  $U_{vo}$ , de l'indice de commutation  $q$  et du nombre de groupes reliés en série  $s$ , ou à partir de la tension entre deux phases des enroulements de la cellule  $U_{\psi o}$  et de l'angle  $\psi$  entre ces deux phases, au moyen de la formule:

$$U_{d10} = \sqrt{2} \cdot U_{vo} \cdot \frac{q \cdot s}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} = \sqrt{2} \cdot U_{\psi o} \cdot \frac{q \cdot s}{2\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{q}}{\sin \frac{\psi}{2}}$$

160.4 *Variation de tension*

Différence entre la tension continue pour le courant nominal et la tension conventionnelle à vide (voir figure) exprimée en volts, lorsque la tension efficace aux bornes côté réseau du groupe redresseur reste constante. Si on utilise un régulateur automatique de tension ou d'autres dispositifs de compensation, on applique le paragraphe 160.7.

*Note.* — La nature du circuit de charge de courant continu (par exemple condensateurs, force contre-électromotrice) peut influencer sur la variation de tension et en pareil cas il peut être nécessaire d'effectuer une étude spéciale.

160.5 *Variation propre de tension*

Variation de tension (voir paragraphes 160.4 et 443), sans tenir compte des effets de l'impédance du réseau de courant alternatif ni des effets correctifs du régulateur automatique de tension, si on en utilise un.

160.6 *Variation totale de tension*

Variation de tension (voir paragraphes 160.4 et 443), en tenant compte des effets de l'impédance du réseau de courant alternatif, lorsqu'elle est spécifiée, mais sans tenir compte des effets correctifs du régulateur automatique de tension, si on en utilise un.

160.7 *Variation de tension corrigée*

Variation de tension (voir paragraphe 160.4) dans le cas où on utilise un régulateur automatique de tension. On ne tient pas compte des effets produits sur la tension continue par des facteurs autres que les variations de charge.

160.8 *Ecart de la commande automatique*

Moitié de la différence entre les valeurs maximale et minimale de la tension continue de sortie, affectée du signe  $\pm$ . L'écart doit être spécifié pour une série bien déterminée de facteurs susceptibles de l'influencer, tels que variations de charge, tension alternative d'entrée, température, etc.

160.1 *D.C. output voltage/current characteristic curve*

The relation between the d.c. voltage and direct current average values of a rectifier equipment, as expressed by a curve for a given voltage, frequency of supply and specified character of load.

160.2 *Conventional no-load voltage*

The value of the direct voltage which would be obtained by extrapolating the d.c. output voltage/current characteristic back to zero current (see Figure).

160.3 *Ideal no-load d.c. voltage*

The ideal no-load d.c. voltage of a rectifier, which assumes no reduction by phase control, no voltage drop in the cells and no voltage rise at small loads, is obtained from the phase to neutral voltage  $U_{vo}$ , the commutation number  $q$  and the number of series connected commutating groups  $s$ , or from the voltage between any two phases of the cell windings,  $U_{\psi o}$ , and from the angle  $\psi$  between these two phases, by the formula:

$$U_{dio} = \sqrt{2} \cdot U_{vo} \cdot \frac{q \cdot s}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} = \sqrt{2} U_{\psi o} \frac{q \cdot s}{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{q}}{\sin \frac{\psi}{2}}$$

160.4 *Voltage regulation*

The difference between the d.c. voltage at rated current and the conventional no-load d.c. voltage (see Figure) expressed in volts, when the r.m.s. voltage remains constant at the line side terminals of the rectifier equipment. If an automatic voltage regulator or other compensating means is used, then Sub-clause 160.7 is valid.

*Note.* — The nature of the d.c. load circuit (e.g. capacitors, back-e.m.f. load) may affect the voltage regulation and where this is so, special consideration may be required.

160.5 *Inherent voltage regulation*

The voltage regulation (see Sub-clauses 160.4 and 443), excluding the effect of a.c. system impedance and the correcting effect of the automatic voltage regulator if used.

160.6 *Total voltage regulation*

The voltage regulation (see Sub-clauses 160.4 and 443), including the effect of the a.c. system impedance where specified but excluding the correcting effect of the automatic voltage regulator if used.

160.7 *Corrected voltage regulation*

The voltage regulation (see Sub-clause 160.4) when an automatic regulator is used. The influence on d.c. voltage of other factors than load changes is to be excluded.

160.8 *Deviation in automatic control*

Half the difference between the highest and lowest values of the d.c. output voltage, and written with a  $\pm$  sign. The deviation shall be stated for a specific range of factors which may have influence on this, such as variations in load, input a.c. voltage, temperature, etc.

## 165 Caractéristiques du réseau à courant alternatif

### 166 Forme d'onde de la tension alternative

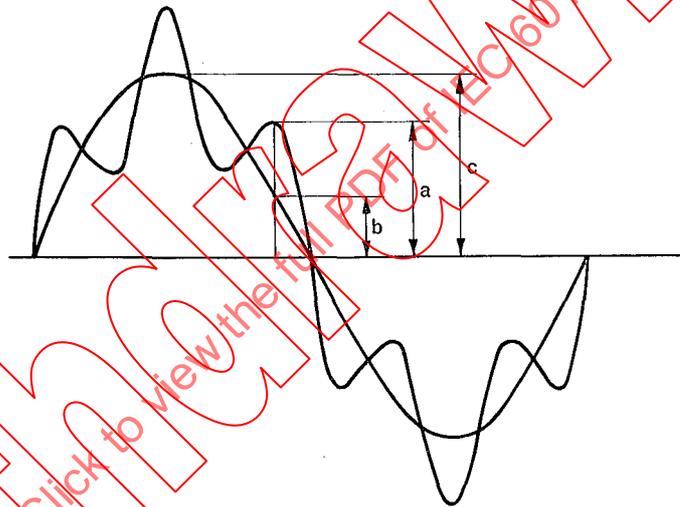
166.1 Sauf spécification contraire, toutes les grandeurs nominales et autres indications rentrant dans le domaine d'application du présent rapport s'appliquent à une forme sinusoïdale de la tension alternative aux bornes côté alternatif des redresseurs ou groupes redresseurs, lorsque le matériel n'est pas en fonction.

166.2 La forme d'onde est considérée comme sinusoïdale dans le présent rapport si la valeur maximale de la différence  $(a - b)$ , indiquée sur la figure,  $b$  étant la valeur simultanée de l'onde fondamentale, ne dépasse pas 5% de la valeur de crête  $c$  de l'onde fondamentale, c'est-à-dire une valeur:

$$(a - b) \leq 0,05 c$$

Pour les redresseurs à 12 phases sans correction automatique de la dissymétrie, cette limite est réduite à 2,5%, c'est-à-dire:

$$(a - b) \leq 0,025 c$$



### 167 Impédance du réseau à courant alternatif

167.1 Pour les groupes redresseurs qui subissent l'influence de l'impédance du réseau à courant alternatif, on doit se conformer aux articles 165, 443, 444, 445 et 446 de la Publication 84 (1957) de la C.E.I.: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure, en ce qui concerne l'influence de l'impédance du réseau à courant alternatif, dans la mesure applicable.

### 168 Variations de la tension et de la fréquence

#### 168.1 *Éléments et cellules*

Pour les éléments et cellules, aucune augmentation de la tension inverse de crête de travail ou de la tension inverse instantanée périodique au-dessus des valeurs nominales n'est admise. On doit en tenir compte en choisissant la tension nominale des cellules et éléments utilisés dans les groupes et assemblages (voir paragraphe 168.2).

## 165 A.C. system conditions

### 166 Waveform of alternating voltage

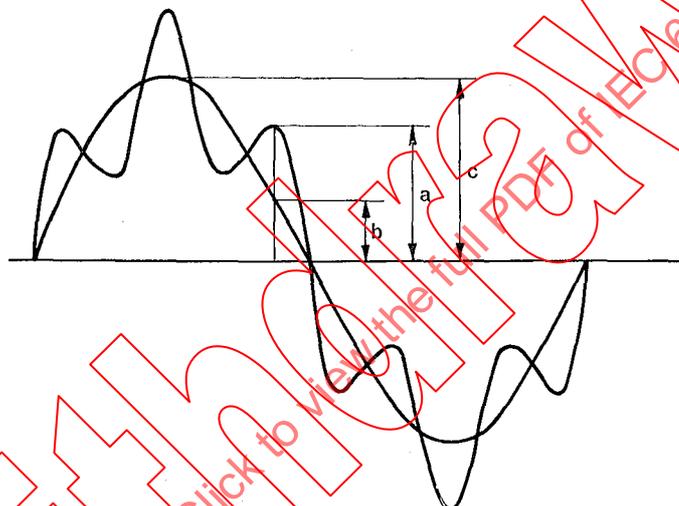
166.1 Where not otherwise specified, all ratings and other information given within the scope of this Report apply for a sinusoidal alternating voltage on the a.c. terminals of rectifiers or rectifier equipments, when the equipment is switched out.

166.2 The waveform of a voltage is considered sinusoidal in this Report, if the largest deviation (a – b) in the figure, from the simultaneous value b of the fundamental wave, does not exceed 5% of the crest value c of the fundamental wave; that is

$$(a - b) \leq 0.05 c$$

For 12-phase rectifiers without automatic asymmetry correction, this limit is reduced to 2.5%; that is

$$(a - b) \leq 0.025 c$$



### 167 A.C. system impedance

167.1 For rectifier equipments where the effect of a.c. system impedance may be significant, Clauses 165, 443, 444, 445, and 446 of I.E.C. Publication 84 (1957), Recommendations for Mercury-arc Converters, relating to the influence of the a.c. system impedance, shall apply.

### 168 Voltage and frequency variations

#### 168.1 *Stacks and cells*

For stacks and cells, no increase of the crest working reverse voltage or maximum recurrent reverse voltage above the rated values is permitted. Allowance for this must be made when selecting the voltage rating of cells and stacks used in equipments and assemblies (see Sub-clause 168.2).

168.2 *Assemblages et groupes*

Les assemblages et groupes doivent pouvoir fonctionner en service temporaire avec une tension d'entrée allant jusqu'à 110% de la tension d'entrée nominale et une fréquence au moins égale à 95% de la fréquence nominale, à condition qu'une diminution de la fréquence ne coïncide pas avec une augmentation de la tension. Lorsqu'une tension alternative comprise entre 100 et 110% de la valeur nominale est appliquée, on ne doit pas dépasser le courant nominal et/ou la puissance nominale.

*Note.* — Des variations de la tension alternative d'alimentation dans les limites ci-dessus donnent naissance à une variation analogue de la tension de sortie continue à moins qu'on ne prenne des mesures de compensation.

**169 Symétrie du systèmes polyphasés**

169.1 Sauf spécification contraire, toutes les grandeurs nominales et autres indications rentrant dans le domaine du présent rapport s'appliquent, dans le cas d'une tension d'alimentation polyphasée, à un système de tensions symétriques.

169.2 Les tensions sont considérées comme symétriques si ni la composante inverse ni la composante homopolaire ne dépassent 5% de la composante directe.

169.3 Si un système polyphasé n'est pas parfaitement symétrique tout en restant dans les limites définies au paragraphe 169.2, c'est la moyenne arithmétique de toutes les tensions entre phases que l'on doit prendre pour la tension d'alimentation.

**175 Conditions de service**

Les conditions de service sont tous les facteurs extérieurs (température ambiante, humidité de l'air, nature de la charge, etc.) qui peuvent exercer une influence sur le fonctionnement d'une cellule, d'un assemblage ou d'un groupe redresseur à semiconducteur.

**176 Valeurs de la température**

On peut spécifier différentes températures pour les éléments redresseurs et pour leur transformateur. Les valeurs des températures de fluides de refroidissement relatives aux cellules ou éléments sont indiquées à l'article 210 et pour les transformateurs dans la Publication 76 de la C.E.I.: Recommandations pour les transformateurs de puissance.

**177 Nature de la charge**

Etant donné que la nature de la charge peut affecter les caractéristiques de fonctionnement d'un groupe redresseur, on doit toujours spécifier la nature de la charge, par exemple: résistive, inductive, force contre-électromotrice, réaction, etc...

**178 Conditions anormales de service et d'installation**

Les conditions suivantes, si elles sont remplies, doivent être indiquées par l'acheteur avant la commande.

178.1 Contraintes mécaniques anormales telles que chocs et vibrations.

178.2 Eau de refroidissement pouvant entraîner des corrosions ou obstructions telle qu'eau de mer ou eau dure.

178.3 Présence de particules étrangères dans l'air ambiant telles qu'impuretés ou poussières anormales.

178.4 Air salin (par exemple à proximité de la mer), humidité élevée, chutes d'eau en gouttes ou gaz corrosifs.

168.2 *Assemblies and equipments*

Assemblies and equipments shall be capable of temporary operation with an input voltage up to 110% of rated input voltage and a frequency not less than 95% of rated frequency, provided that a decrease in frequency does not coincide with an increase in voltage. When a.c. voltage between 100 and 110% of rated value is applied, rated current and/or rated power must not be exceeded.

*Note.* — Variations in the a.c. supply voltage, within the above limits, will give rise to a similar variation in the d.c. output voltage, unless compensating measures are taken.

**169 Symmetry of polyphase system**

169.1 When not otherwise specified, all ratings and other information given within the scope of this Report, in the case of a polyphase supply voltage, apply for a system with symmetrical voltages.

169.2 The voltages are to be considered symmetrical if neither the negative sequence component nor the zero sequence component exceeds 5% of the positive sequence component.

169.3 If a polyphase system is not perfectly symmetrical but is within the limits of Sub-clause 169.2, the arithmetic mean value of all phase-to-phase voltages shall be taken as the line voltage.

**175 Service conditions**

Service conditions are all external factors (ambient temperature, air humidity, character of load, etc.) which may have influence on the performance of a semi-conductor rectifier cell, stack, assembly or equipment.

**176 Temperature values**

Different temperatures may be specified for the rectifier cells or stacks and for the rectifier transformer. The values of cooling medium temperatures relating to the cells or stacks are given in Clause 210 and those relating to the transformer are given in I.E.C. Publication 76, Recommendations for Power Transformers.

**177 Character of load**

Because the character of the load may affect the performance characteristics of a rectifier equipment, the character of load must always be specified, e.g. resistive load, inductive load, counter-e.m.f. load, regenerative load etc.

**178 Unusual service and installation conditions**

The following conditions, if existing, should be declared by the purchaser before placing the order.

178.1 Unusual mechanical stresses, e.g. shocks and vibrations.

178.2 Cooling water which may cause corrosion or obstruction, e.g. sea water or hard water.

178.3 Foreign particles in the ambient air, e.g. abnormal dirt or dust.

178.4 Salt air (e.g. proximity to the sea), high humidity, dripping water or corrosive gases.

- 178.5 Exposition aux vapeurs d'eau ou d'huile.
- 178.6 Exposition à des mélanges explosifs de poussières ou gaz.
- 178.7 Fluide contenant des particules radioactives.
- 178.8 Température ambiante, si elle diffère des spécifications de l'article 212 et de la Publication 76 de la C.E.I.: Recommandations pour les transformateurs de puissance.
- 178.9 Exposition à des températures ambiantes inférieures à  $-30^{\circ}\text{C}$ . (le matériel n'étant pas en fonction et sans eau de refroidissement).
- 178.10 Service à des températures ambiantes inférieures à:
  - $10^{\circ}\text{C}$  avec refroidissement par air
  - $0^{\circ}\text{C}$  avec refroidissement par eau
  - $5^{\circ}\text{C}$  avec refroidissement à huile.
- 178.11 Valeurs élevées de l'humidité relative et de la température du genre de celles que l'on rencontre dans les climats semi-tropicaux ou tropicaux.
- 178.12 Variations importantes et brusques de la température et de l'humidité.
- 178.13 Altitude supérieure à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.
- 178.14 Superposition de tensions à haute fréquence.
- 178.15 Fréquences en dehors de la gamme de 15 à 2 000 Hz.
- 178.16 Variations de la tension d'alimentation supérieures à  $\pm 10\%$ .
- 178.17 Utilisation des cellules ou éléments redresseurs comme éléments de circuits de transducteurs.

Les autres conditions anormales de service non comprises dans cette énumération doivent également faire l'objet d'un accord spécial entre l'acheteur et le constructeur.

Les corrections à appliquer lors des essais de matériel spécifié comme devant fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m et à des températures ambiantes supérieures à celles que l'on peut réaliser en usine sont indiquées quand il y a lieu dans les articles relatifs aux essais.

## 180 Exécution des essais

Il est opportun de limiter l'exécution des essais onéreux à ceux qui sont nécessaires. Le présent rapport de la C.E.I. est présenté de telle sorte que les essais peuvent être normalement limités aux essais à l'usine du constructeur sur les éléments séparés conformément aux articles 250, 330 et 470.

D'autres essais, comme ceux effectués sur le groupe redresseur complètement assemblé ou les essais au lieu d'installation, ne doivent être compris qu'en cas d'accord à cet effet avant la commande.

Si l'acheteur ou son représentant désire assister aux essais en usine, il doit le spécifier dans la commande.

L'acheteur a intérêt à s'abstenir d'exiger des essais spéciaux ou des essais en présence de témoins. L'acheteur ou son représentant peut cependant assister aux essais si un accord dans ce sens a été conclu avant la commande.

En cas d'accord avant la commande, le constructeur doit fournir des certificats des essais de type et/ou individuels qu'il a effectués et ceux-ci doivent indiquer les résultats obtenus.

- 178.5 Exposure to steam or oil vapour.
- 178.6 Exposure to explosive mixtures of dust or gases.
- 178.7 Fluid containing radioactive particles.
- 178.8 Ambient temperature, if different from that specified in Clause 212 and I.E.C. Publication 76, Recommendations for Power Transformers.
- 178.9 Exposure to ambient temperatures below  $-30^{\circ}\text{C}$  (when out of service and without cooling water).
  
- 178.10 Service at ambient temperatures below:
  - $10^{\circ}\text{C}$  with air cooling
  - $0^{\circ}\text{C}$  with water cooling
  - $5^{\circ}\text{C}$  with oil cooling.
- 178.11 High values of relative humidity and temperature similar to those associated with sub-tropical or tropical climatic conditions.
- 178.12 Considerable and rapid fluctuations of temperature and humidity.
- 178.13 Altitude of more than 1 000 m above sea level.
- 178.14 Superimposed high-frequency voltages.
- 178.15 Frequencies outside the range between 15 and 2 000 Hz (c/s).
- 178.16 Supply voltage variations larger than  $\pm 10\%$ .
- 178.17 The use of cells or stacks as components in transducer circuits.

Other unusual conditions of service not covered by this list shall also be subject to special agreement between purchaser and manufacturer.

Corrections to be applied when testing equipment specified for service at altitudes above 1 000 m and ambient temperatures above that which are available at the works are given in the test clauses when necessary.

## **180 Performance of tests**

It is advisable to confine the performance of costly tests to those which are necessary. This I.E.C. Report is so drawn up that testing can normally be confined to tests in the manufacturer's works on the separate components in accordance with Clauses 250, 330 and 470.

Other tests, such as tests on the completely assembled rectifier equipment or tests on site, are only to be included if specifically agreed in the contract.

When the purchaser or his representative desires to witness factory tests, he shall so specify in the order.

It is in the interest of the purchaser to avoid calling for special or witnessed tests. Nevertheless the purchaser or his representative may witness tests if agreed at the time of making the contract.

When agreed before placing the order, the manufacturer shall provide certificates of type and/or routine tests made by him, and these shall show the results obtained.

Les éléments constitutants et un groupe redresseur de chaque type dimensionnel figurant au contrat doivent, sous réserve des dispositions de l'alinéa suivant, être soumis aux essais de type de façon à établir que le groupe est conforme au contrat. Tous les éléments constitutants doivent être soumis aux essais individuels. Si le redresseur, le transformateur ou un autre élément est semblable à un matériel précédemment essayé, le constructeur peut produire un certificat de tout essai effectué précédemment avec les mêmes modalités que celles spécifiées au contrat. En pareil cas, il n'est pas nécessaire, sauf spécifications contraires, de répéter, soit entièrement soit en partie, les essais de type du redresseur, du transformateur ou de l'élément constituant considéré.

Les essais sont classés en *Essais de type* (paragraphe 180.1) et *Essais individuels* (paragraphe 180.2).

180.1 *Essais de type*

Les essais de type doivent être effectués pour vérifier si un produit satisfait aux conditions spécifiées et convenues entre l'acheteur et le constructeur conformément au présent rapport.

Certains de ces essais ou tous ces essais peuvent être répétés périodiquement sur des échantillons prélevés sur la production ou les livraisons courantes, de façon à confirmer que la qualité du produit est toujours conforme aux conditions spécifiées.

180.2 *Essais individuels*

Les essais individuels du constructeur font partie des mesures prises par le constructeur pour s'assurer que les propriétés de ses produits correspondent à celles constatées lors des essais de type.

## 185 Liste des principaux symboles

Cette liste ne comprend que les symboles les plus utilisés. Les symboles d'une utilisation rare sont définis dans le texte à l'endroit approprié. Pour une liste plus complète des symboles employés dans le domaine des convertisseurs statiques, il y a lieu de se reporter à la Publication 84 (1957) de la C.E.I.: *Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure*, article 185.

185.1 *Liste des indices*

- 0 A vide
- 1 A la charge nominale
- d Courant continu ou tension continue
- i Fictif
- L Côté réseau d'un transformateur
- v Côté cellule d'un transformateur
- a Valeur moyenne.

185.2 *Liste des symboles*

Les symboles affectés de l'indice 1, désignant des valeurs nominales ou des valeurs à la charge nominale, ne sont donnés qu'occasionnellement dans la liste afin d'éviter les répétitions.

<i>Symboles</i>	<i>Désignation</i>	<i>Paragraphe</i>
$U_a$	= Tension continue, toute valeur définie	160.1
$U_{a10}$	= Tension continue, valeur fictive à vide	160.3
$U_{d1}$	= Tension continue, valeur nominale	139.3
$U_{th}$	= Tension de seuil dans le sens direct	131.3
$U_a$	= Chute de tension directe, valeur moyenne	132.2
$I_a$	= Courant direct dans une soupape redresseuse, valeur moyenne	133.1.1

The components of one rectifier equipment of each size in the contract shall, subject to the provisions in the following paragraph, be subjected to type tests to ensure that the equipment complies with the contract. All the components shall be subjected to routine tests. If the rectifier or transformer or other component is similar to one previously tested, the manufacturer may submit a certificate of any previous test at least equal to requirements specified for the contract. In such cases the type tests, either wholly or in part, on the rectifier, the transformer or the component concerned, need not be repeated unless otherwise specified.

Tests are classified as *Type tests* (Sub-clause 180.1) and *Routine tests* (Sub-clause 180.2).

180.1 *Type tests*

Type tests shall be carried out to verify that a product will meet the requirements specified and agreed between purchaser and manufacturer according to this Report.

Some or all of these tests may be repeated from time to time on samples drawn from current production or deliveries, so as to confirm that the quality of the product still meets the requirements specified.

180.2 *Routine tests*

The manufacturer's routine tests form part of the manufacturer's measures to ensure that the properties of his products will correspond to those measured during the type tests.

## 185 List of principal symbols

This list only covers the most widely used symbols. Symbols infrequently used are defined in the text in the appropriate places. For a more complete list of symbols used in connection with static converters, reference should be to I.E.C. Publication 84 (1957): Recommendations for Mercury arc Convertors, Clause 185.

185.1 *List of suffixes*

0	At no-load
1	At rated load
d	Direct current or voltage
i	Ideal
L	Line side of transformer
v	Cell side of transformer
a	Average value.

185.2 *List of symbols*

The symbols with suffix 1, designating rated values or values at rated load, are only given occasionally in the list to avoid repetition.

<i>Symbol</i>	<i>Description</i>	<i>Sub-clause</i>
$U_d$	= Direct voltage, any defined value	160.1
$U_{di0}$	= Direct voltage, ideal no-load value	160.3
$U_{d1}$	= Direct voltage, rated value	139.3
$U_{th}$	= Threshold voltage in forward direction	131.3
$U_a$	= Forward voltage drop, average value	132.2
$I_a$	= Forward current in a rectifying element, average value	133.1.1

$I_d$	= Courant continu, toute valeur définie	160
$I_{d1}$	= Courant continu, valeur nominale	139.2
$I_L$	= Courant côté réseau du transformateur	138.1.4
$I_v$	= Courant côté cellule du transformateur	138.1.5
$m$	= Nombre de phases	37.1.3
$p$	= Indice de pulsation	122.6
$q$	= Indice de commutation	122.7
$r_f$	= Résistance différentielle dans le sens direct	131.4
$U_L$	= Tension nominale côté réseau du transformateur entre phases	138.1.2
$U_r$	= Tension de crête inverse effective	133.2.1
$U_{rm}$	= Tension inverse périodique maximale	133.2.2
$U_{rt}$	= Tension de crête inverse transitoire	133.2.3
$U_v$	= Tension de l'enroulement côté cellule (entre phases ou entre phase et neutre selon le paragraphe 138.1.3)	138.1.3
$d_r$	= Chute de tension résistive du côté continu en pour cent de $U_{dio}$	
$d_x$	= Chute de tension inductive du côté continu en pour cent de $U_{dio}$	
$v$	= Facteur de déformation	135.3
$\lambda$	= Facteur de puissance global	135.1
$\cos \varphi$	= Facteur de déphasage	135.2
$\Theta_{s1}$	= Température nominale de la cellule	222.2

## 200 CELLULES ET ÉLÉMENTS

200.1 Le présent chapitre se rapporte aux cellules et éléments fournis séparément à des fins à déterminer par l'acheteur ou pour être utilisés dans un groupe redresseur spécifié.

200.2 Ce chapitre se rapporte également aux cellules et éléments qui sont des éléments constituants d'un groupe redresseur fourni en conformité avec le présent rapport.

*Note.* — Les assemblages redresseurs font l'objet du chapitre 400.

## 210 Conditions de service

### 211 Altitude

Sauf spécification contraire, les cellules et éléments sont prévus pour fonctionner à leur régime nominal (136.1) à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

### 212 Limites de température de l'air ambiant et des fluides de refroidissement

Dans tous les cas, la température ambiante ou celle du fluide de refroidissement doit être spécifiée par l'acheteur ou, à défaut, par le constructeur dans son offre. Il est de l'intérêt de l'acheteur de spécifier pour chacune de ces températures la limite maximale la plus basse permise par les conditions climatiques locales.

$I_d$	= Direct current, any defined value	160
$I_{d1}$	= Direct current, rated value	139.2
$I_L$	= Current on line side of transformer	138.1.4
$I_v$	= Current on cell side of transformer	138.1.5
$m$	= number of phases	371.3
$p$	= Pulse number	122.6
$q$	= Commutating number	122.7
$r_1$	= Differential resistance in forward direction	131.4
$U_L$	= Voltage on line side of transformer, phase to phase	138.1.2
$U_r$	= Crest working reverse voltage	133.2.1
$U_{rm}$	= Maximum recurrent reverse voltage	133.2.2
$U_{rt}$	= Peak transient reverse voltage	133.2.3
$U_v$	= Voltage of cell winding (phase to phase or neutral to phase according to Sub-clause 138.1.3)	138.1.3
$d_r$	= Total resistive voltage drop on d.c. side, in per cent of $U_{dio}$	
$d_x$	= Total inductive voltage drop on d.c. side, in per cent of $U_{dio}$	
$v$	= Distortion factor	135.3
$\lambda$	= Total power-factor	135.1
$\cos \varphi$	= Displacement factor	135.2
$\Theta_{s1}$	= Rated cell temperature	222.2

## 200 CELLS AND STACKS

- 200.1 This chapter refers to cells and stacks supplied separately for use to be determined by the purchaser or for use in specified rectifier equipment.
- 200.2 This chapter also refers to cells and stacks which are components of rectifier equipment delivered in accordance with this Report.

*Note.* — Rectifier assemblies are covered by Chapter 400.

## 210 Service conditions

### 211 Altitude

Unless otherwise specified, cells and stacks are intended to operate at their ratings (136.1) at altitudes not exceeding 1 000 m above sea level.

### 212 Temperature limits of ambient air and cooling media

In every case, the ambient temperature or cooling medium temperature shall be specified by the purchaser or, failing this, by the manufacturer in his tender. It is in the interests of the purchaser to specify for each as low a maximum temperature as the local climatic conditions will permit.

Ces températures doivent être spécifiées de préférence de 5 en 5°, celles les plus couramment utilisées sont indiquées ci-dessous:

212.1 Pour l'air: max. 25°, 30°, 35°, 40°, 45°C, etc.

Si l'air de refroidissement utilisé n'est pas le même que l'air ambiant, on doit spécifier pour l'un et l'autre les limites de température séparément.

Si l'air de refroidissement est l'air ambiant, les mêmes limites s'appliquent à tous deux.

212.2 Pour l'eau: max. 15°, 20°, 25°, 30°, 35°C, etc.

### **213 Termes relatifs au refroidissement**

213.1 *Refroidissement naturel*

Refroidissement par convection naturelle de l'air ambiant.

213.2 *Refroidissement par ventilation forcée*

Refroidissement au moyen d'un dispositif de ventilation forcée, ventilateur par exemple. L'air de refroidissement peut provenir du voisinage immédiat ou d'un endroit dont la température diffère de celle de l'air ambiant.

213.3 *Refroidissement à eau perdue*

Refroidissement au moyen d'eau empruntée à une canalisation extérieure.

213.4 *Refroidissement par fluide refroidi à l'air*

Refroidissement par circulation d'un agent de transfert de la chaleur (gaz ou liquide), refroidi par l'air. La circulation du fluide et le refroidissement de l'air peuvent être naturels ou forcés respectivement.

213.5 *Refroidissement par fluide refroidi à l'eau*

Refroidissement par circulation d'un agent de transfert de la chaleur (gaz ou liquide) refroidi par l'eau empruntée à une canalisation extérieure, soit dans un échangeur de chaleur, soit dans une tubulure de refroidissement à l'intérieur du fluide. La circulation du fluide peut être naturelle ou forcée.

213.6 *Refroidissement naturel par immersion dans un liquide*

Refroidissement au moyen d'un thermosiphon où circule un liquide de transfert de la chaleur, refroidi par circulation naturelle d'air à l'extérieur de l'enveloppe.

213.7 *Refroidissement forcé par immersion dans un liquide*

Refroidissement au moyen d'un thermosiphon où circule un liquide refroidi par ventilation forcée à l'extérieur de l'enveloppe.

### **214 Définitions relatives à la température**

214.1 *Température ambiante pour les éléments à semiconducteurs prévus pour refroidissement naturel*

Température de l'air immédiatement au-dessous de l'élément redresseur lorsqu'il est en fonction dans les conditions de service spécifiées.

214.2 *Température de l'air de refroidissement pour les éléments à semiconducteurs prévus pour la ventilation forcée*

Température de l'air de refroidissement immédiatement avant son entrée dans les éléments.

These temperatures shall preferably be specified in 5 degree increments and those most commonly used are listed below.

212.1 For air: max. 25°, 30°, 35°, 40°, 45°C, etc.

If the cooling air used is not the same as the ambient air, separate temperature limits shall be specified for each.

If the cooling air is the same as the ambient air, the same limits apply to both.

212.2 For water: max. 15°, 20°, 25°, 30°, 35°C, etc.

### **213 Cooling terms**

213.1 *Natural air cooling*

Cooling by the natural convection of the ambient air.

213.2 *Cooling by forced ventilation*

Cooling by a forced ventilation arrangement, e.g. a fan. The cooling air can be taken from the immediate proximity or from a place at a different temperature from that of the ambient air.

213.3 *Tap water cooling*

Cooling by water from an external supply.

213.4 *Fluid-to-air cooling*

Cooling by a circulating heat transfer agent (gas or liquid), which is cooled by air. The fluid circulation and the air cooling can be natural or forced respectively.

213.5 *Fluid-to-water cooling*

Cooling by a circulating heat transfer agent (gas or liquid) which is cooled by water from an external supply, either in a heat exchanger or in a cooling duct within the fluid. The fluid circulation can be natural or forced.

213.6 *Liquid immersed natural cooling*

Cooling by a thermo-siphon circulating liquid heat transfer agent which is cooled by natural air circulation on the outside of the container.

213.7 *Liquid immersed forced cooling*

Cooling by a thermo-siphon circulated liquid which is cooled by forced air cooling on the outside of the container.

### **214 Temperature definitions**

214.1 *Ambient temperature for semiconductor stacks rated for natural air cooling*

The temperature of the air directly below the rectifier stack when it is in service under rated service conditions.

214.2 *Cooling air temperature for semiconductor stacks rated for cooling by forced ventilation*

The temperature of the cooling air immediately before its entry into the stacks.

- 214.3 *Température ambiante pour un groupe redresseur*  
Température de l'air ambiant qui entoure immédiatement le groupe redresseur.
- 214.4 *Température du fluide de refroidissement*  
Température du fluide de refroidissement à l'admission.

## **220 Caractéristiques nominales**

Les caractéristiques nominales pour les cellules ou éléments doivent être indiquées par le constructeur dans les conditions des articles 221 à 225.

### **221 Mode de refroidissement spécifié**

Deux classes de cellules ou d'éléments peuvent satisfaire au présent rapport:

- 221.1 *Cellules ou éléments avec corps de refroidissement*  
Cellules ou éléments redresseurs fournis avec leurs propres dispositifs de dissipation de chaleur, tels que cellules montées sur plomb, cellules avec nervures incorporées ou éléments nervurés.  
Pour cette classe, la nature et l'état du fluide de refroidissement doivent être spécifiés par le constructeur (par exemple, convection naturelle de l'air, refroidissement par ventilation forcée, convection naturelle de l'huile, etc.).
- 221.2 *Cellules ou éléments sans corps de refroidissement*  
Cellules redresseuses, telles que les cellules fermées aux extrémités, fournies pour être utilisées avec les dispositifs d'évacuation de chaleur propres à l'acheteur (par exemple, chambre refroidie par nervures ou fluide, et à laquelle est fixée la cellule).  
Pour cette classe, l'utilisateur doit s'assurer que la température de fonctionnement spécifiée pour la cellule n'est pas dépassée.

### **222 Conditions nominales de refroidissement ou de température de la cellule**

- 222.1 *Conditions nominales de refroidissement*  
Pour les cellules et éléments mentionnés au paragraphe 221.1, il y a lieu de spécifier les conditions nominales de refroidissement, à savoir:
- i) température ambiante et altitude dans le cas de refroidissement naturel;
  - ii) température de l'air de refroidissement, vitesse et altitude dans le cas du refroidissement par ventilation forcée;
  - iii) nature du fluide de refroidissement et sa température dans le cas du refroidissement par liquide.
- 222.2 *Température nominale de la cellule  $\Theta_{s1}$*   
Pour les cellules mentionnées au paragraphe 221.2, il y a lieu de spécifier une température nominale qui est la température en un point de mesure approprié de la cellule. Il y a lieu de spécifier également la méthode de mesure de la température de la cellule.

### **223 Courant direct moyen nominal**

Une valeur nominale du courant direct moyen (défini au paragraphe 133.1.1) peut être attribuée pour tout mode de refroidissement spécifié en application de l'article 221.

- 214.3 *Ambient temperature for a rectifier equipment*  
The temperature of the ambient air immediately surrounding the rectifier equipment.
- 214.4 *Cooling medium temperature*  
The temperature of the incoming cooling medium.

## 220 Ratings

Ratings for cells and stacks are to be given by the manufacturer in terms of Clauses 221 to 225.

### 221 Rated cooling method

Two classes of cells or stacks may be supplied to this Report;

#### 221.1 *Cells or stacks with cooling body*

Rectifier cells or stacks supplied with their own heat dissipating arrangements, such as lead-mounted cells, cells with integral fins, or finned stacks.

For this class, the type and condition of the cooling medium is to be specified by the manufacturer (e.g. natural air convection, forced air cooling, natural oil convection, etc.).

#### 221.2 *Cells or stacks without cooling body*

Rectifier cells, such as stud or base mounted cells, supplied for use with the purchaser's heat dissipating arrangements (e.g. a fin, or a fluid cooled chamber to which the cell is attached).

For this class, the user must ensure that the specified working temperature of the cell is not exceeded.

### 222 Rated cooling conditions or cell temperature

#### 222.1 *Rated cooling conditions*

In the case of cells and stacks as described in Sub-clause 221.1, the cooling conditions are to be specified, namely:

- i) the ambient temperature and altitude in the case of natural-air cooling;
- ii) the cooling-air temperature, velocity and altitude in the case of forced-air cooling;
- iii) the cooling medium and its temperature in the case of liquid cooling.

#### 222.2 *Rated cell temperature, $\Theta_{s1}$*

For cells described in Sub-clause 221.2, a rated cell temperature is to be specified, this being the temperature at a prescribed measuring point on the cell. The method for cell temperature measurement is also to be specified.

### 223 Rated average forward current

A rated value of the average forward current (defined in Sub-clause 133.1.1) shall be assigned for the rated cooling method specified in Clause 221.

223.1 *Soupapes redresseuses*

Pour une cellule ou élément redresseur constituant une soupape redresseuse (paragraphe 122.1), le courant direct moyen nominal est donné pour un mode de connexion monophasé avec une charge résistive. On peut donner des facteurs de conversion s'appliquant aux autres modes de connexion et aux autres charges.

223.2 *Montage redresseur*

Pour un élément redresseur constituant un montage redresseur (paragraphe 122.3), le courant direct moyen nominal est donné sous forme du courant débité par l'élément sur une charge résistive, sauf spécification contraire.

*Notes de l'article 223*

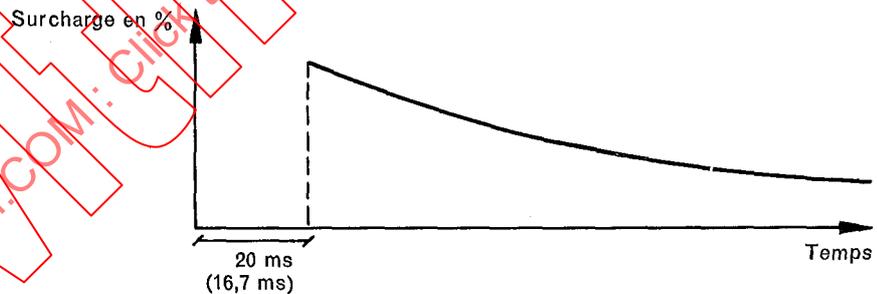
- 1) Lorsque des cellules ou éléments redresseurs sont couplés en parallèle, on doit veiller à ce qu'ils fonctionnent avec leur courant direct moyen nominal.
- 2) Les caractéristiques nominales spécifiées aux articles 221, 222, 223 et 225 sont intimement liées entre elles.
- 3) Pour des températures différentes au point de référence, on peut donner des courants nominaux différents.

224 **Courant direct de surcharge nominal**

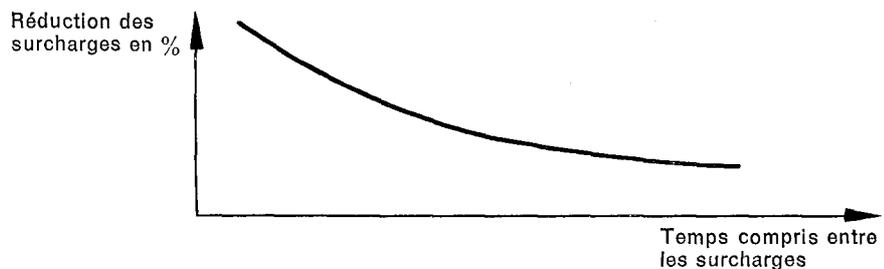
Les surcharges admissibles peuvent être spécifiées au moyen d'une classe de service nominal conformément à l'article 432 ou à l'aide d'une des méthodes décrites aux paragraphes 224.1 et 224.2. Quelle que soit la méthode adoptée pour spécifier les surcharges, on doit fournir les indications suivantes:

- i) conditions nominales de refroidissement ou température nominale de la cellule (paragraphe 222.1 ou 222.2);
- ii) situation de la charge immédiatement précédente;
- iii) si les surcharges doivent ou non être suivies du rétablissement de la tension inverse après chaque impulsion de courant.

224.1 Les surcharges supérieures à celles données par une classe de service nominal (article 432) sont indiquées de préférence par les deux courbes ci-dessous pour des durées supérieures à un cycle. Pour des surcharges uniques à partir d'une charge de base spécifiée, on utilise la première courbe ci-après:



Si la fréquence des surcharges est telle que la surcharge admissible est réduite, on utilise la deuxième courbe ci-après:



223.1 *Rectifying elements*

For a rectifier cell or rectifier stack forming a rectifying element (Sub-clause 122.1), the rated average forward current is given in terms of a single-phase connection with resistive load. Conversion factors applicable to other connections and loads may be given.

223.2 *Rectifier connection*

For a rectifier stack forming a rectifier connection (Sub-clause 122.3), the rated average forward current is given in terms of the stack output current, to a resistive load unless otherwise specified.

*Notes to Clause 223*

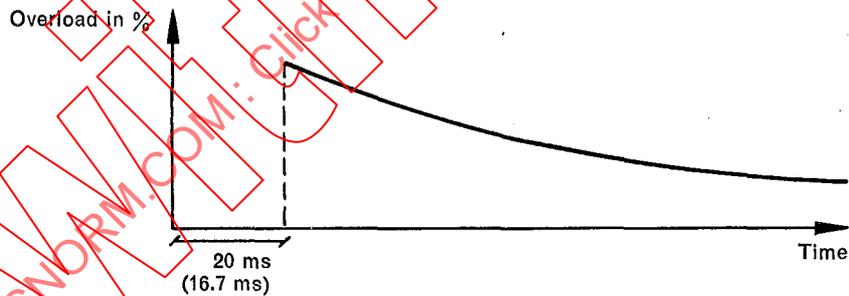
- 1) When rectifier cells or rectifier stacks are connected in parallel, precautions must be taken to ensure that they operate within their average forward current rating.
- 2) Ratings specified under Clauses 221, 222, 223 and 225 are inter-related.
- 3) For different temperatures at the reference point, different rated currents may be given.

224 **Rated forward overload current**

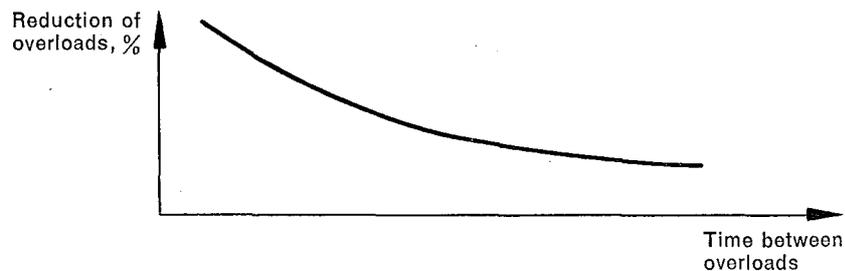
The permissible overloads may be specified by an equipment rating class according to Clause 432 or by any one of the methods described in Sub-clauses 224.1 and 224.2. Whichever method is adopted for specifying the overloads, the following information shall be given.

- i) rated cooling conditions or cell temperature (Sub-clause 222.1 or 222.2);
- ii) immediate previous loading condition;
- iii) whether or not the overloads are to be followed by the restoration of reverse voltage after each current pulse.

224.1 Overloads higher than those given by an equipment rating class (Clause 432) are preferably characterized by the two curves shown below for times longer than the time of one cycle. For single overloads from a specified base load the upper diagram is used.



If the frequency of overloads is such that the overload capacity is reduced, the lower diagram is used.



*Note.* — Les courbes supposent que la forme d'onde du courant est la même au cours de la surcharge et au cours de la charge de base. Dans les cas pratiques, cependant, ceci est rarement vrai et le changement de forme d'onde doit être pris en considération quand ces caractéristiques nominales sont appliquées dans les cas critiques.

224.2 Les surcharges qui ne peuvent être supportées que pendant une partie d'un cycle peuvent souvent être données par l'expression :

$$\int_0^{t_2} P dt$$

où :

$P$  est la valeur instantanée de la puissance développée dans la cellule,  
 $t_2$  est la durée de surcharge admissible.

Pour de très petites durées ( $\leq 3$  ms), la charge admissible peut s'exprimer approximativement sous la forme :

$$\int_0^{t_2} I^2 dt$$

où :

$I$  est la valeur instantanée du courant passant dans la cellule.

*Notes* 1) — Lorsque des cellules ou éléments redresseurs sont couplés en parallèle, on doit veiller à ce qu'ils fonctionnent dans les limites de leur courant direct de surcharge nominal.

2) — Les caractéristiques nominales spécifiées aux articles 221, 222, 223, 224 et 225 sont intimement liées entre elles.

3) — Pour des températures différentes au point de référence, on peut donner des courants nominaux différents.

## 225 Tension inverse nominale

### 225.1 Tension de crête inverse effective nominale $U_{r1}$

Tension de crête inverse effective maximale admissible (paragraphe 133.2.1) d'une cellule ou d'une soupape redresseuse d'un élément redresseur et qui lui est attribuée par le constructeur dans des conditions de service spécifiées y compris la température, le courant direct et le mode de connexion du circuit.

### 225.2 Tension inverse périodique maximale nominale $U_{rm1}$

Tension inverse périodique maximale admissible (paragraphe 133.2.2) d'une cellule ou élément redresseur constituant une soupape redresseuse et qui lui est attribuée par le constructeur dans des conditions de service spécifiées y compris la température, le courant direct et le mode de connexion du circuit.

### 225.3 Tension de crête inverse transitoire nominale $U_{rt1}$

Valeur nominale, attribuée par le constructeur, de la tension de crête inverse transitoire (paragraphe 133.2.3) qui peut être appliquée aux bornes d'une cellule ou d'une soupape redresseuse d'un élément redresseur dans des conditions de service spécifiées y compris la température, le courant direct et le mode de connexion du circuit.

A cet effet, il peut être fait référence à la tension que le redresseur supporte dans un circuit d'essai spécifié.

*Notes* 1) — Lorsque des cellules ou éléments redresseurs sont couplés en série, on doit veiller à ce que chaque cellule fonctionne sous sa tension inverse nominale.

2) — Les caractéristiques nominales spécifiées aux articles 221, 222, 223, 224 et 225 sont intimement liées entre elles.

*Note.* — The diagrams assume that the wave shape of current is the same during overload as during base load. In practical cases, however, this is seldom true, and the change of waveshape must be considered when applying these ratings in critical cases.

224.2 Overloads which can only be sustained for part of a cycle can often be characterized by the expression:

$$\int_0^{t_2} P dt$$

where:

$P$  is the instantaneous value of power loss developed in the cell,  
 $t_2$  is the permissible overload time.

For very short times ( $\leq 3$  ms), the permissible load can approximately be expressed by:

$$\int_0^{t_2} I^2 dt$$

where:

$I$  = instantaneous value of current through the cell.

*Notes* 1) — Where rectifier cells or rectifier stacks are connected in parallel, precautions must be taken to ensure that they operate within their forward overload current rating.

1) — Ratings specified under Clauses 221, 222, 223, 224 and 225 are inter-related.

3) — For different temperatures at the reference point, different rated currents may be given.

## 225 Rated reverse voltage

225.1 *Rated crest working reverse voltage,  $U_{r1}$*

The highest permissible crest working reverse voltage (Sub-clause 133.2.1) of a rectifier cell or rectifying element of a rectifier stack, assigned to it by the manufacturer under specified service conditions including temperature, forward current and circuit connection.

225.2 *Rated maximum recurrent reverse voltage,  $U_{rm1}$*

The highest permissible recurrent reverse voltage (Sub-clause 133.2.2) of a rectifier cell or rectifier stack forming a rectifying element, assigned to it by the manufacturer under specified service conditions including temperature, forward current and circuit connection.

225.3 *Rated peak transient reverse voltage  $U_{rt1}$*

The rated value, assigned by the manufacturer, of the peak transient reverse voltage (Sub-clause 133.2.3) that may be impressed across a rectifier cell or rectifying element of a rectifier stack under specified service conditions including temperature, forward current and circuit connection.

For this purpose reference may be made to the voltage that the rectifier will withstand in a specified test circuit.

*Notes* 1) — Where rectifier cells or rectifier stacks are connected in series, precautions must be taken to ensure that every cell operates within its reverse voltage rating for this condition.

2) — Ratings specified in Clauses 221, 222, 223, 224 and 225 are inter-related.

## 230 Indications à fournir

### 231 Indications à fournir normalement

Le constructeur doit fournir normalement les indications suivantes:

- 231.1 Caractéristiques nominales conformément à l'article 220.
- 231.2 Courant direct limite d'essai à utiliser pour les essais des paragraphes 252.3 et 252.4 en précisant la méthode d'essai à suivre.

### 232 Indications complémentaires

Sur demande, le constructeur doit également fournir d'autres indications, par exemple, toutes ou certaines des suivantes:

- 232.1 Chute de tension directe instantanée en fonction du courant instantané en service nominal. Voir paragraphe 252.2.1.
- 232.2 Courant inverse instantané en fonction de la tension inverse instantanée en service nominal. Voir paragraphe 252.2.2.
- 232.3 Limites admissibles pour la température de stockage.
- 232.4 En outre, sous réserve d'accord à la passation de la commande, il y a lieu de fournir des indications sur les caractéristiques pour des *régimes temporaires* déterminés. Voir article 224.

## 240 Marquage

- 240.1 Chacune des cellules ou éléments qui constitue l'organe remplaçable le plus petit doit être marquée, de façon claire et indélébile, des indications suivantes:
  - 240.1.1 Nom ou marque d'identification du constructeur.
  - 240.1.2 Symbole de référence du constructeur indiquant les feuilles particulières énumérant toutes les caractéristiques nominales et autres informations conformes au présent rapport.
  - 240.1.3 Numéro du présent rapport, soit: Publication 146 (1963) de la C.E.I.
- 240.2 Le sens direct de chaque cellule doit être indiqué de l'une des manières suivantes:
  - Le sens direct peut être indiqué au moyen d'une flèche (méthode préférentielle).
  - La borne de sortie du courant seule peut être marquée en rouge ou par le signe +.
  - La borne d'entrée du courant peut être marquée en bleu ou par le signe – et la borne de sortie du courant doit être marquée en rouge ou par le signe +.
- 240.3 Les bornes de chaque élément ou assemblage doivent être marquées de la façon suivante:
  - Bornes positives (cathode): en rouge ou par le signe +
  - Bornes négatives (anode): en bleu ou par le signe –
  - Bornes d'entrée du courant alternatif (s'il y a lieu): en jaune ou par le signe ~

## 230 Declaration of data

### 231 Data normally to be given

The manufacturer shall normally supply the following information:

- 231.1 The ratings according to Clause 220.
- 231.2 Forward current test limit to be used for the tests on Clauses 252.3 and 252.4, stating which test method is used.

### 232 Supplementary data

If requested, the manufacturer shall also supply further information, for example, all or any of the following:

- 232.1 Instantaneous forward voltage drop plotted against instantaneous current at rated service. See Sub-clause 252.2.1.
- 232.2 Instantaneous reverse current plotted against instantaneous reverse voltage at rated service. See Sub-clause 252.2.2.
- 232.2 Permissible limits of storage temperature.
- 232.4 In addition, if agreed at the time of making the contract, information should be supplied on specific *short-time ratings*. See Clause 224.

## 240 Marking

- 240.1 Each cell or stack, whichever constitutes the smallest replaceable item, shall be clearly and indelibly marked with the following information:
  - 240.1.1 Manufacturer's name or identification.
  - 240.1.2 Manufacturer's reference code, referring to data sheets giving all ratings and other information according to this report.
  - 240.1.3 The number of this Report, i.e. I.E.C. Publication 146 (1963).
- 240.2 The forward direction of each cell shall be indicated in one of the following ways:
  - The forward direction may be indicated by an arrow (preferred method).
  - Current exit terminal only may be marked red or +.
  - Current entry terminal may be marked blue or – and current exit terminal shall be marked red or +.
- 240.3 The terminals of each stack or assembly shall be marked as follows:
  - Positive terminals (cathode): red or +
  - Negative terminals (anode): blue or –
  - A.C. input terminals (if any): yellow or ~

## 250 Essais

### 251 Généralités

251.1 Les essais de type (paragraphe 180.1) doivent être effectués conformément aux articles énumérés dans le tableau ci-dessous.

Quelques essais individuels (paragraphe 180.2) sont recommandés comme un minimum et le constructeur doit les compléter des essais nécessaires pour être assuré que les conditions précisées ci-dessus sont maintenues.

<i>Nature des essais</i>	<i>Essais de type</i>	<i>Essais individuels recommandés</i>
Courbe caractéristique directe et inverse	Paragraphe 252.2 (facultatif)	non prescrit
Essai de courant direct	Paragraphe 252.3	Paragraphe 252.4
Essai de tension inverse	Paragraphe 252.5	Paragraphe 252.5
Essai d'isolement	Paragraphe 252.6	Paragraphe 252.7
Essai de fonctionnement	Paragraphe 252.8	non prescrit
Essai d'échauffement	Paragraphe 252.10	non prescrit

### 252 Méthodes d'essai

252.1 *Courbes caractéristiques directe et inverse (essais de type)*

L'essai doit être effectué en mesurant des valeurs instantanées (paragraphe 252.2).

252.2 *Mesure des valeurs instantanées*

En fonctionnement normal, la température de la jonction varie pendant les intervalles de courant direct et de tension inverse. Cette variation de température dépend toutefois de la durée des intervalles, c'est-à-dire du mode de connexion.

Il y a donc lieu d'effectuer la mesure des valeurs instantanées avec le mode de connexion réel en alternant correctement le courant direct et la tension inverse. Ces mesures sont toutefois difficiles et elles ne sont valables que pour ce mode de connexion. Ceci se vérifie spécialement pour le courant inverse alors que la chute de tension directe dépend à un moindre degré de la variation cyclique de la température.

En présence de ces difficultés et de la valeur limitée de ces mesures, il est recommandé de mesurer séparément, dans des conditions bien définies, la chute de tension directe et le courant inverse.

252.2.1 *Chute de tension directe, valeur instantanée*

La chute de tension directe doit être mesurée dans un circuit assurant la même forme d'onde du courant que celle indiquée à l'article 223, le point de référence de la cellule étant à la température nominale. L'essai doit être effectué à une tension suffisamment basse (de court-circuit par exemple) pour que l'influence de la tension inverse sur l'oscilloscope soit négligeable.

Au cours de ces mesures, les variations de température sont les mêmes qu'en fonctionnement réel

## 250 Tests

### 251 General

251.1 Type tests (Sub-clause 180.1) shall be carried out in accordance with the clauses enumerated in the following table.

A few routine tests (Sub-clause 180.2) are recommended as a minimum and the manufacturer shall add to these such tests as are necessary to ensure that the requirements stated above are maintained.

<i>Nature of tests</i>	<i>Type test</i>	<i>Recommended Routine tests</i>
Forward and reverse characteristic curve	Sub-clause 252.2 (optional)	Not required
Forward current test	Sub-clause 252.3	Sub-clause 252.4
Reverse voltage test	Sub-clause 252.5	Sub-clause 252.5
Insulation test	Sub-clause 252.6	Sub-clause 252.7
Rating test	Sub-clause 252.8	Not required
Temperature-rise test	Sub-clause 252.10	Not required

### 252 Test methods

252.1 *Forward and reverse characteristic curves (Type test)*  
The test shall be carried out as a measurement of instantaneous values (Sub-clause 252.2).

#### 252.2 *Measurement of instantaneous values*

In normal service the temperature of the junction fluctuates during the intervals of forward current and reverse voltage. This temperature fluctuation is, however, dependent upon the length of the intervals, that is it is dependent upon the connection.

Measurements of the instantaneous values therefore ought to be made with the actual connection with the correct alternation of forward current and reverse voltage. Such measurements however are difficult and the validity is restricted to this connection. This is true especially for the reverse current while the forward voltage drop is less dependent on the cyclic temperature variation.

In view of these difficulties and the restricted value of such measurements, it is recommended that forward voltage drop and reverse current be measured separately under well defined conditions.

#### 252.2.1 *Forward voltage drop, instantaneous value*

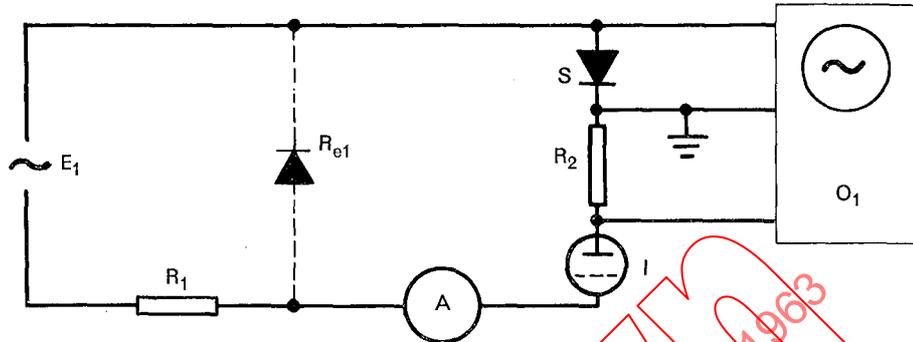
The forward voltage drop shall be measured in a connection giving a current waveshape as stated under Clause 223 and with the reference point of the cell at rated temperature. The test has to be performed at a sufficiently low voltage (e.g. short-circuit) for the influence of reverse voltage on the oscilloscope to be unimportant.

During these measurements the temperature variations will be the same as in actual service with

avec pont monophasé, charge résistive, du fait que les pertes inverses sont négligeables.

Lors de ces mesures, on doit tenir compte des champs de dispersion qui peuvent entraîner des erreurs de mesure.

La figure ci-dessous donne un exemple de circuit de mesure :

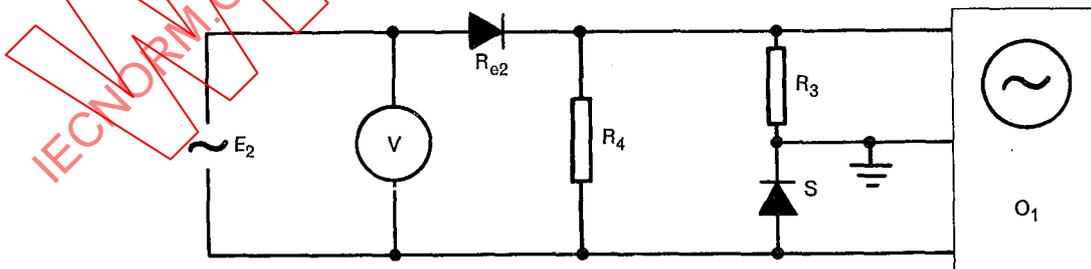


- S Echantillon soumis à l'essai
- I Dispositif unidirectionnel ayant un courant de fuite négligeable (Ignitron par exemple)
- $R_1, R_2$  Résistances
- $R_{e1}$  Soupape redresseuse (destinée à éviter de charger en courant continu la source de courant)
- $O_1$  Oscilloscope
- $E_1$  Source de tension alternative sinusoïdale

#### 252.2.2 Courant inverse, valeur instantanée

Le courant inverse doit être mesuré dans un circuit assurant la même tension que dans un circuit monophasé, une charge résistive, mais le courant direct doit être faible par rapport au courant nominal. Les mesures doivent être effectuées à des valeurs déterminées de tension et de température. Au cours de ces mesures, la température de la jonction est pratiquement la même que celle du point de référence.

La figure ci-dessous donne un exemple de circuit de mesure :

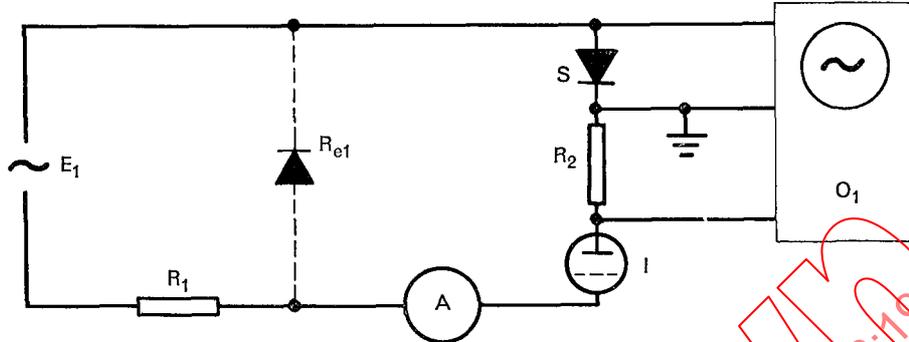


- S Echantillon soumis à l'essai
- $R_3, R_4$  Résistances
- $R_{e2}$  Soupape redresseuse (destinée à éviter un courant direct dans S).
- $E_2$  Source de tension alternative sinusoïdale
- $O_1$  Oscilloscope

single-phase connection, resistive load, as the reverse losses are negligible.

In taking these measurements due consideration should be given to stray magnetic fields which may cause measurement errors.

An example of a measuring circuit is given in the figure below:

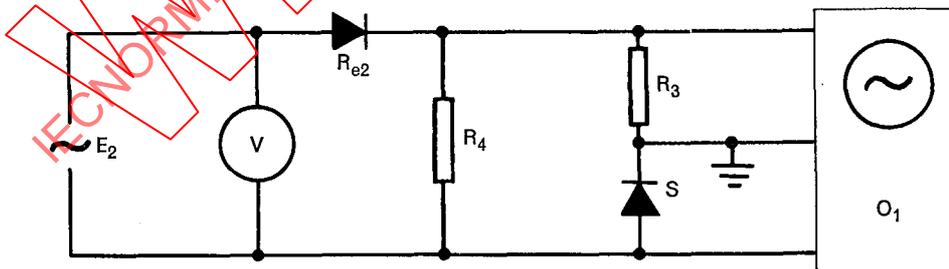


- S Test specimen
- I Unidirectional device having negligible leakage current (for instance ignitron)
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>; Resistors
- R<sub>e1</sub> Rectifying element (to avoid d.c. loading of current source)
- O<sub>1</sub> Oscilloscope
- E<sub>1</sub> Sinusoidal a.c. voltage source

### 252.2.2 Reverse current, instantaneous value

Reverse current shall be measured in a connection giving a reverse voltage corresponding to single-phase connection, resistive load, but the forward current shall be small compared with rated current. The measurements shall be carried out at stated values of voltage and temperature. During these measurements, the temperature of the junction will be practically the same as that of the reference point.

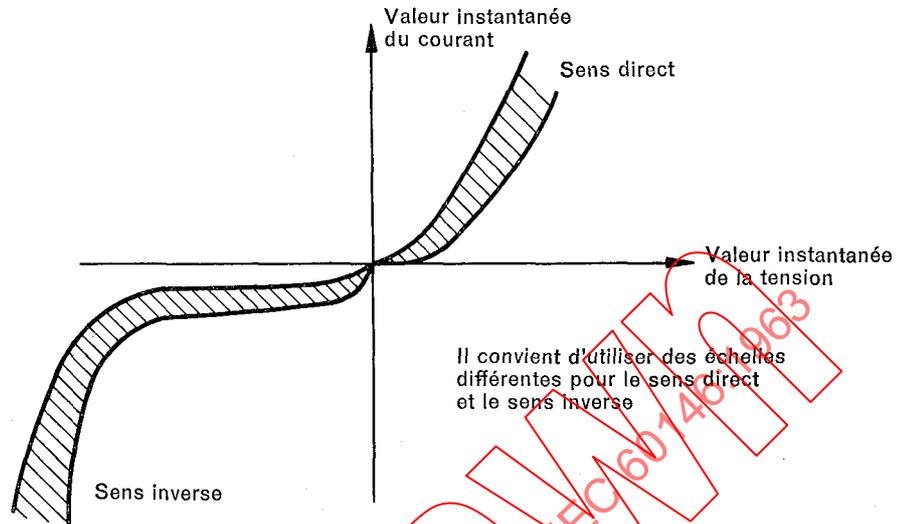
An example of a measuring circuit is given in the figure below:



- S Test specimen
- R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> Resistors
- R<sub>e2</sub> Rectifying element (to avoid forward current in S)
- E<sub>2</sub> Sinusoidal a.c. voltage source.
- O<sub>1</sub> Oscilloscope

252.2.3 Représentation des indications

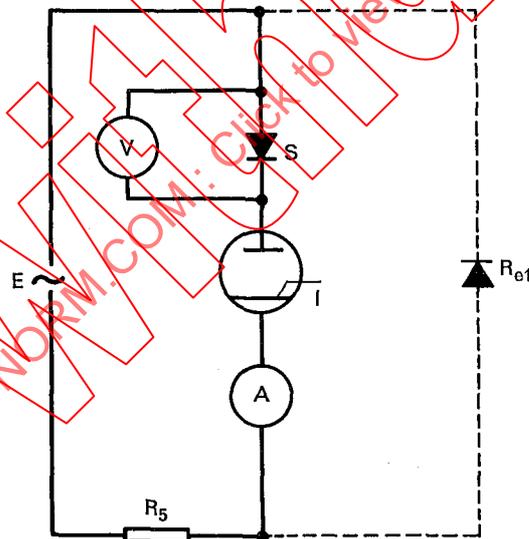
Lorsque les caractéristiques directes et inverses d'une cellule sont représentées graphiquement, il est recommandé d'adopter la disposition de la figure ci-dessous. La partie hachurée représente les limites de la variation entre des cellules différentes. On doit bien préciser que les courbes indiquent des valeurs instantanées.



252.3 Essai de courant direct (Essai de type)

Cet essai est effectué pour établir des valeurs normales pour l'essai individuel.

A cet effet, il est souvent extrêmement commode et suffisamment précis de mesurer la chute de tension directe moyenne (article 132.2). La méthode de mesure la plus simple est celle indiquée dans la figure. L'échantillon fonctionne alors sans tension inverse et avec une forme d'onde du courant correspondant au fonctionnement monophasé avec charge résistive.



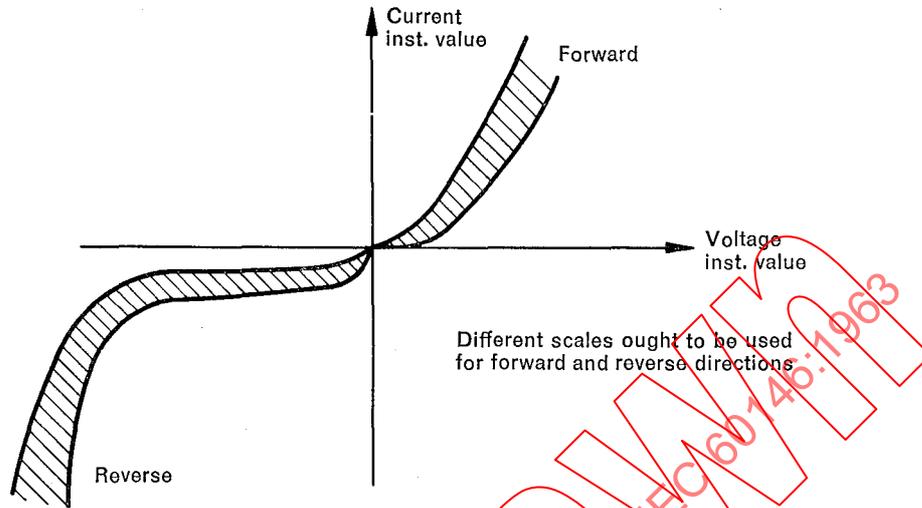
- S : Echantillon soumis aux essais
- V : Voltmètre à cadre mobile donnant la chute de tension directe moyenne
- A : Ampèremètre à cadre mobile donnant le courant direct moyen
- $R_5$  : Résistance de charge
- $R_{c1}$  : Soupape redresseuse (destinée à éviter de charger en courant continu la source de courant)
- I = Dispositif unidirectionnel ayant un courant de fuite négligeable (ignitron par exemple)
- E = Source de tension alternative sinusoïdale

252.4 Essai de courant direct (Essai individuel)

Chaque cellule doit être essayée conformément au paragraphe 252.3 en utilisant la même méthode, le même courant et les mêmes conditions d'essai que pour l'essai de type. La tension développée aux bornes de la cellule ne doit pas différer de la valeur nominale de plus que la tolérance indiquée par le constructeur.

252.2.3 Presentation of data

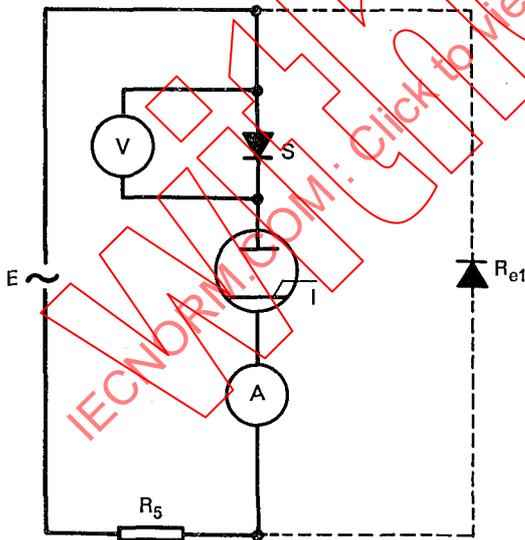
When the forward and reverse characteristics of a cell are presented in graphical form, the arrangement in the figure is recommended. The shaded area represents the range of variation between different cells. It shall be clearly specified that the curves show instantaneous values.



252.3 Forward current test (Type test)

This test is carried out to set a standard for the routine test.

For this purpose, it is often most convenient and sufficiently accurate to measure the average forward voltage drop (Sub-clause 132.2). It is most simply measured with the circuit shown in the figure. The specimen will then operate without reverse voltage and with a current wave shape corresponding to single-phase operation with resistive load.



- S : Test specimen
- V : Moving-coil voltmeter showing average forward voltage drop
- A : Moving-coil ammeter showing average forward current
- R<sub>5</sub> : Load resistor
- R<sub>e1</sub> : Rectifying element (to avoid d.c. loading of current source)
- I : Unidirectional device having negligible leakage current (for instance ignitron)
- E : Sinusoidal a.c. voltage source

252.4 Forward current test (Routine test)

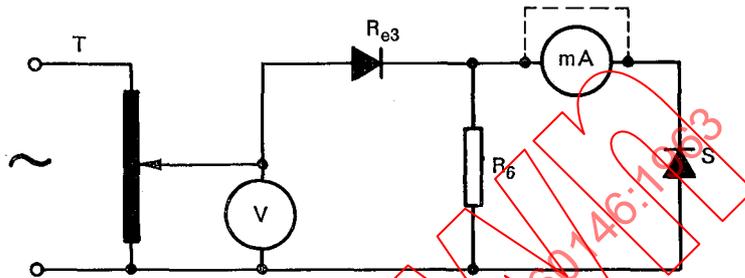
Each cell shall be tested in accordance with Sub-clause 252.3 using the same method, the same current and the same test conditions as used for the type test. The voltage developed across the cell shall not deviate from the rated value by more than the tolerance declared by the manufacturer.

252.5 *Essai de tension inverse (Essai de type et essai individuel)*

Chaque cellule ou élément doit supporter sans dommage pendant trois secondes une tension sinusoïdale demi-onde dont la valeur de crête, mesurée aux bornes de la cellule, est égale à la tension inverse périodique maximale nominale.

L'essai doit être effectué, le point de référence étant à une température dépassant la température nominale de la valeur correspondant à la chute de température entre la jonction et le point de référence en service nominal.

La façon la plus commode d'effectuer l'essai est celle donnée dans la figure. Le milliampèremètre n'est pas indispensable, mais il indique le courant inverse moyen qu'il est pratique de mesurer par cette méthode à titre de valeur de référence.



- S : Echantillon soumis aux essais
- V : Voltmètre efficace
- mA : Milliampèremètre à cadre mobile
- R<sub>6</sub> : Résistance de shuntage
- R<sub>e3</sub> : Soupape redresseuse destinée à empêcher le courant direct dans l'échantillon.

252.6 *Essai d'isolement (Essai de type, seulement pour les éléments)*

Lorsque l'élément est muni d'un dispositif de fixation et en est isolé, l'isolement doit être essayé comme suit:

Avant d'appliquer la tension d'essai, on doit relier ensemble toutes les bornes de toutes les cellules ou groupements de cellules en série de façon à s'assurer que la haute tension n'est pas appliquée aux bornes des cellules.

L'isolation entre les bornes court-circuitées et les parties métalliques du dispositif de fixation doit supporter sans dommage une tension alternative d'essai pendant une minute.

Sauf accord contraire à la passation de la commande, la valeur efficace de la tension d'essai doit être de:

$$2\,000\text{ V ou } \frac{2 U_{rp}}{\sqrt{2}} + 1\,000\text{ V}$$

en prenant la plus élevée de ces deux valeurs,  $U_{rp}$  étant la tension effective de crête entre une paire quelconque de bornes.

La tension d'essai doit être appliquée progressivement en partant de 50% de sa valeur et en l'élevant à sa pleine valeur en au moins dix secondes.

L'essai doit être effectué à la température ambiante.

Pour les éléments utilisés en situation exposée du point de vue électrique \*, ou quand il y a lieu de prévoir des surtensions de manœuvre considérables, la tension d'essai peut être augmentée par accord entre l'acheteur et le constructeur à la passation de la commande.

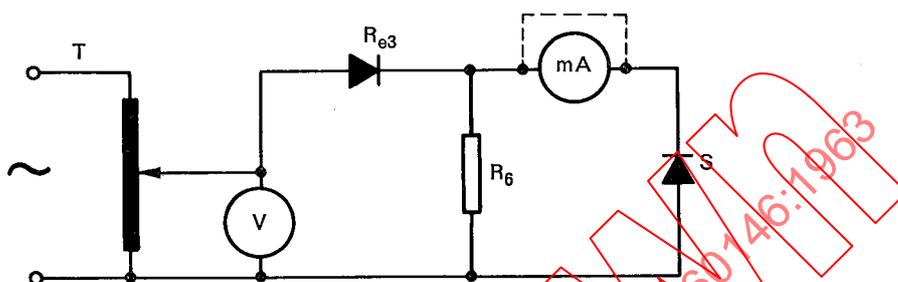
\* Les installations peuvent en général être classées comme exposées du point de vue électrique lorsque les appareils sont ou peuvent être soumis à des surtensions d'origine atmosphérique. Ces installations sont en général celles raccordées à des lignes aériennes de transport, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une courte longueur de câble, ce qui peut amplifier certaines tensions.

252.5 *Reverse voltage test (Type test and Routine test)*

Each cell or stack shall withstand for 3 seconds, without injury, a half-wave sinusoidal voltage having a peak value, measured across the cell, equal to the rated maximum recurrent reverse voltage.

The test shall be performed with the reference point at a temperature so much higher than rated temperature as corresponds to the temperature drop from the junction to the reference point in rated service.

The test is most conveniently carried out with the circuit shown in the figure. The milliammeter is not essential but indicates average reverse current, which is conveniently measured by this method for reference purposes.



- S : Test specimen
- V : R.M.S. voltmeter
- mA : Moving coil milliammeter
- R<sub>6</sub> : By-pass resistor
- R<sub>e3</sub> : Rectifying element to prevent forward current in the specimen

252.6 *Insulation test (Type test, stacks only)*

When the stack is provided with a mounting device and is insulated from it, the insulation shall be tested in the following manner:

Before applying the test voltage, all of the terminals of all cells or series groups of cells shall be joined together to ensure that the high voltage shall not be applied across the cells.

The insulation between the short-circuited terminals and the metallic parts of the mounting device, shall satisfactorily withstand an a.c. test voltage for one minute.

Unless otherwise agreed at the time of making the contract, the r.m.s. value of the test voltage shall be:

$$2\,000\text{ V or } \frac{2 U_{rp}}{\sqrt{2}} + 1\,000\text{ V}$$

whichever be the larger, where  $U_{rp}$  is the highest rated crest working voltage between any pair of terminals.

The test voltage shall be applied gradually, starting at 50% and increasing to full value in not less than 10 seconds.

The test shall be performed at room temperature.

For stacks to be used in electrically exposed conditions \*, or where considerable switching over-voltages are to be expected, the test voltage may be increased by agreement between purchaser and manufacturer at the time of making the contract.

\* Installations can be generally classified as electrically exposed when the apparatus is or may be subject to overvoltages of atmospheric origin. Such installations are usually those connected to overhead transmission lines either directly or through a short length of cable, which may amplify certain voltages.

252.7 *Essai d'isolement (Essai individuel)*

On doit effectuer un essai conforme au paragraphe 252.6. Dans des cas spéciaux on peut effectuer à la place un essai de courte durée sous une tension plus élevée par accord spécial entre l'acheteur et le constructeur.

252.8 *Essai de fonctionnement (Essai de type)*

L'objet de cet essai est de s'assurer que les cellules peuvent satisfaire aux conditions des articles 223 et 224.

On doit prélever au hasard un nombre suffisant de cellules ou d'éléments pour cet essai.

On doit utiliser le mode de refroidissement spécifié et effectuer l'essai à la température ambiante maximale spécifiée ou à la température maximale spécifiée du fluide de refroidissement, suivant le cas, et avec le mode de connexion spécifié pour le circuit.

Lorsque les cellules peuvent être utilisées avec différents modes de refroidissement, on doit effectuer l'essai à une température nominale de cellule (paragraphe 222.2), sauf spécification contraire.

Lorsqu'un élément est prévu pour fonctionner à une altitude supérieure à 1 000 m, l'essai doit être effectué avec un courant supérieur à la valeur spécifiée de 1,0 % par 100 m au-dessus de 1 000 m pour les éléments à refroidissement naturel, et de 1,5 % pour ceux à refroidissement par ventilation forcée.

252.8.1 Pour les cellules et éléments dont les caractéristiques nominales sont spécifiées conformément à l'article 223 et dont les surcharges sont données par l'une des méthodes indiquées à l'article 224, le constructeur doit effectuer des essais de fonctionnement pour démontrer que les cellules ou éléments supportent leurs charges et surcharges nominales.

252.8.2 Les cellules et éléments destinés à être utilisés dans des groupes ou assemblages des classes de service B à F de l'article 432 doivent être mis en fonction sous une tension au moins égale à la tension effective de crête nominale et avec le courant continu nominal pendant au moins deux heures, puis avec les surcharges spécifiées.

252.8.3 Les cellules ou éléments destinés à être utilisés dans des groupes ou assemblages de la classe de service G de l'article 432 doivent être mis en fonction sous une tension au moins égale à la tension effective de crête nominale et avec un cycle de service au moins aussi sévère que celui qui est spécifié.

252.9 *Pertes dans les cellules et éléments.*

Le présent rapport ne prescrit pas d'essai pour la mesure directe des pertes dans les cellules et éléments séparés fournis séparément. S'il y a lieu de les indiquer, on doit les calculer à partir des caractéristiques directes instantanées à la température nominale (paragraphe 252.2) et pour la forme d'onde réelle du courant direct. Il ne doit pas être tenu compte des pertes en courant inverse.

252.10 *Essai d'échauffement (Essai de type pour éléments uniquement)*

L'élément doit être essayé dans les conditions nominales (article 222.1) avec un courant d'essai tel que les pertes obtenues soient les mêmes qu'en service normal. A cet effet on court-circuite les bornes à courant continu de l'élément et on l'alimente par une source à courant continu de basse tension, ou on fait passer un courant continu à travers les cellules.

Si l'élément est prévu pour fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m, les pertes pendant l'essai doivent être augmentées du même pourcentage que celui indiqué au paragraphe 252.8 pour le courant continu.

L'échauffement au point de mesure prescrit (paragraphe 222.2) doit avoir une valeur telle qu'on ne dépasse pas la température nominale de la cellule lorsqu'elle fonctionne dans les conditions nominales de refroidissement.

252.7 *Insulation test (Routine test)*

A test shall be made in accordance with Sub-clause 252.6. In special cases a short-time test at a higher voltage may be used instead, if specially agreed between purchaser and manufacturer.

252.8 *Rating test (Type test)*

The purpose of this test is to verify that the cells or stacks are capable of meeting the requirements of Clauses 223 and 224.

Sufficient cells or stacks shall be selected at random for the test.

The specified method of cooling shall be used and the test shall be carried out at the maximum specified ambient temperature or with the maximum specified cooling medium temperature, as the case may be, and with specified circuit connections.

When the cells can be used for a number of different cooling methods, the test shall be carried out at rated cell temperature (Sub-clause 222.2), unless otherwise specified.

When a stack is to be used at an altitude above 1 000 m, the test shall be carried out at a current which is increased above the specified value by 1.0% per 100 m above 1 000 m for natural air cooled stacks and by 1.5% for forced air cooled stacks.

252.8.1 For cells and stacks where ratings are specified according to Clause 223 and where the overloads are given in one of the ways mentioned in Clause 224, the manufacturer shall perform rating tests to prove that the cells or stacks will carry their rated loads and overloads.

252.8.2 For cells and stacks specified for use in equipments or assemblies of Rating Classes B to F of Clause 432, they shall be operated at not less than the rated crest working voltage and the rated direct current for a minimum of 2 hours, followed by the specified overloads.

252.8.3 Cells or stacks specified for use in equipments or assemblies of Rating Class G of Clause 432, shall be tested at not less than the rated crest working voltage and on a duty cycle not less onerous than that specified.

252.9 *Power losses in cells and stacks*

No test is prescribed in this Report for the direct measurement of power losses in cells or stacks supplied separately. Power losses when given, shall be calculated from forward instantaneous characteristics at rated temperature (Clause 252.2) and for the appropriate wave shape of forward current. Reverse current shall be ignored.

252.10 *Temperature-rise test (Type test for stacks only)*

The stack shall be tested under rated cooling conditions (Sub-clause 222.1) at a test current such that the same loss will be developed during the test as in normal service. This may be achieved by short-circuiting the d.c. terminals of the stack and connecting a low-voltage a.c. supply to the stack input terminals, or by passing direct current through the cells.

When the stack is to be used at an altitude above 1 000 m (3 300 ft.) the loss during the test shall be increased by the same percentage as that specified for the current in Sub-clause 252.8.

The temperature rise at the prescribed measuring point (Sub-clause 222.2) shall have such a value that the rated cell temperature will not be exceeded when operating under rated cooling conditions.

## 300 TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES

### 310 Généralités

311 Le présent rapport se réfère en général aux caractéristiques par lesquelles les transformateurs pour redresseurs diffèrent des transformateurs de puissance ordinaires. Sur les autres points, les règles spécifiées pour les transformateurs de puissance doivent s'appliquer également aux transformateurs pour redresseurs dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec le présent rapport.

312 On doit tenir compte du fait qu'un transformateur pour redresseur fonctionne avec un courant dont la forme d'onde n'est pas sinusoïdale. Dans le couplage à simple voie, le courant parcourant chaque enroulement de cellule comporte une composante continue dont il doit être tenu compte pour la construction et les essais. Dans certains cas, une construction spéciale s'impose lorsque les courts-circuits extérieurs et les avaries de cellules provoquent une contrainte anormale.

313 Le régime nominal du transformateur pour redresseur doit correspondre au régime nominal de l'ensemble redresseur associé.

### 320 Echauffement

Les limites d'échauffement doivent être conformes au tableau III et à la correction donnée à l'annexe A, page 110. Les limites données dans le tableau III sont basées sur la température ambiante et la température du fluide de refroidissement spécifiées dans la Publication 76 de la C.E.I.: Recommandations pour les transformateurs de puissance, et sur un fonctionnement à une altitude ne dépassant pas 1 000 mètres.

### 330 Essais

Les essais de transformateurs et d'inductances doivent être effectués conformément aux articles 331 et 332.

#### 331 Essais de type (voir paragraphe 180.1)

Ces essais comprennent les essais énumérés aux paragraphes 331.1, 331.2 et de 332.1 à 332.5. Pour les petits groupes, toutefois, voir paragraphe 472.6.

331.1 Il n'est pas nécessaire de répéter les essais d'échauffement (article 360) sur des transformateurs de construction complètement identique sauf accord lors de la passation du contrat.

#### 331.2 Réactance de commutation

Pour les couplages 2, 3, 5, 9, 10 et 11, on peut déterminer la réactance de commutation à partir d'un essai de court-circuit triphasé conformément au tableau I.

Pour les couplages 1, 4, 6 et 12, pour tout autre couplage ne figurant pas au tableau I, la réactance de commutation doit être déterminée comme indiqué ci-dessous.

On utilise un essai de court-circuit monophasé pour obtenir la réactance de commutation et si nécessaire la chute de tension continue inductive. Pour cet essai, toutes les bornes primaires du transformateur sont court-circuitées et on fait passer un courant alternatif à fréquence nominale et de valeur égale à  $0,354 I_{d1}/g$  par 2 phases (de commutation) consécutives du côté secondaire,  $I_{d1}$  étant le courant continu nominal et  $g$  le nombre de groupes commutant entre lesquels  $I_{d1}$  est réparti. Tous les enroulements du côté secondaire dont la commutation coïncide avec ces deux phases doivent être reliés en parallèle au cours de l'essai.

## 300 TRANSFORMERS AND REACTORS

### 310 General

311 This Report relates, in general, to those characteristics wherein rectifier transformers differ from ordinary power transformers. In other respects, the specified rules for power transformers shall apply to rectifier transformers also, as far as they are not in contradiction with this report.

312 It should be borne in mind that a rectifier transformer operates with non-sinusoidal current waveshape. In single-way connection, the current in each cell winding contains a d.c. component which calls for special attention in design and testing. In some cases a special design is necessary when external short circuits and cell failures would cause abnormal stress.

313 The rating of the rectifier transformer shall correspond to the rating of the associated rectifier assembly.

### 320 Temperature rise

Limits of the temperature rise shall be in accordance with Table III and with the correction given in Appendix A, page 111. The limits given in Table III are based on ambient and cooling-medium temperatures specified in I.E.C. Publication 76, Recommendations for Power Transformers, and operation at an altitude not greater than 1 000 metres (3 300 ft.).

### 330 Tests

Tests on transformers and reactors shall be performed in accordance with Clauses 331 and 332.

#### 331 Type tests (see Sub-clause 180.1)

Type tests shall comprise the tests listed in Sub-clauses 331.1, 331.2 and 332.1 to 332.5 inclusive. For small units, however, see Sub-clause 472.6.

331.1 Temperature-rise tests (Clause 360) need not be repeated on transformers of essentially duplicate design unless agreed to when making the contract.

#### 331.2 *Commutating reactance*

For connections 2, 3, 5, 9, 10 and 11 the commutation reactance may be determined from a three-phase short-circuit test according to Table I.

For connections 1, 4, 6 and 12 and any other connection, not listed in Table I, the commutating reactance shall be determined as described below.

A single-phase short-circuit test shall be used to obtain the commutating reactance and, if required, the inductive d.c. voltage drop. In this test all primary terminals of the transformer are short-circuited and an alternating current of rated frequency and of magnitude  $0.354 I_{d1}/g$  is fed through two consecutive (commutating) phases on the secondary side. In the formula,  $I_{d1}$  is the rated direct current and  $g$  is the number of commutating groups among which  $I_{d1}$  is divided. All windings on the secondary side, whose commutations coincide with these two phases, shall be connected in parallel during the test.

La composante réactive de la tension d'entrée, exprimée en pour cent de la tension nominale entre les deux bornes, donne la réactance de commutation à partir de laquelle on peut calculer conformément au paragraphe 444.3 la chute de tension réactive due au transformateur.

### **332 Essais individuels (voir paragraphe 180.2)**

Tous les transformateurs et inductances doivent subir les essais individuels. Ceux-ci doivent comprendre les essais suivants. Pour les petits groupes, toutefois, voir paragraphe 473.4.

- 332.1 Rapport de transformation et polarité.
- 332.2 Mesure de la résistance des enroulements.
- 332.3 Essai à vide (article 341).
- 332.4 Essai de court-circuit (article 342).
- 332.5 Essais d'isolement (article 350).

### **340 Pertes et chutes de tension dans les transformateurs et inductances**

- 340.1 Les pertes mesurées doivent être ramenées à la température de référence appropriée spécifiée dans la Publication 76 de la C.E.I.: *Recommandations pour les transformateurs de puissance*.

#### **341 Essais à vide du transformateur**

Les pertes à vide sont mesurées de la même façon que pour les transformateurs de puissance sous la tension nominale et à la fréquence nominale.

- 341.1 Pour certains types de transformateurs, la forme d'onde de la tension de fonctionnement normale n'est pas sinusoïdale. Les pertes dans le fer de ces transformateurs se déterminent en appliquant une tension sinusoïdale de même valeur moyenne arithmétique et de même fréquence fondamentale que la tension appliquée en service.

#### **342 Mesure des pertes dans les enroulements du transformateur**

Les pertes dans les enroulements qui se manifestent dans les conditions normales de service comprennent les pertes ohmiques dans le cuivre et les pertes supplémentaires (fonction de la fréquence) dues aux courants de Foucault. En raison des harmoniques, il serait nécessaire, pour mesurer les pertes réelles dans les enroulements, que le transformateur soit en service normal avec l'assemblage redresseur. Cette méthode de mesure ne peut être recommandée du fait de sa complication et de son imprécision. C'est pourquoi on calcule les pertes dans les enroulements à partir des résultats de mesures en court-circuit effectuées avec des courants sinusoïdaux. Cette méthode se base sur l'emploi dans les enroulements de courants sinusoïdaux de même valeur efficace que ceux qui existeraient en fonctionnement avec l'assemblage redresseur en négligeant l'empiétement. Ceci est valable pour les transformateurs à double voie. Pour ceux à simple voie, on se reporte au tableau I.

Du fait qu'en service normal avec l'assemblage redresseur les valeurs efficaces du courant sont légèrement plus faibles que lors de l'essai, on observe une *erreur positive*. Cette erreur positive est supposée compensée par l'*erreur négative* résultant du fait qu'on néglige les pertes supplémentaires dues aux courants de Foucault provenant des harmoniques en service normal avec l'assemblage redresseur.

The reactive component of the input voltage, expressed as a percentage of the rated voltage between the two terminals, gives the commutating reactance from which the reactive voltage drop, due to the transformer, may be calculated in accordance with Sub-clause 444.3.

**332 Routine tests (see Clause 180.2)**

All transformers and reactors shall be subjected to routine tests, which shall include the following tests. For small units, however, see Sub-clause 473.4.

- 332.1 Turns ratio and polarity.
- 332.2 Measurement of the resistance of the windings.
- 332.3 No-load test (Clause 341).
- 332.4 Short-circuit test (Clause 342).
- 332.5 Insulation tests (Clause 350).

**340 Losses and voltage drops in transformers and reactors**

- 340.1 The measured losses shall be corrected to the appropriate reference temperature specified in I.E.C. Publication 76, Recommendations for Power Transformers.

**341 No-load test on the transformer**

The no-load losses shall be measured as for power transformers at rated voltage and rated frequency.

- 341.1 For certain types of transformers, the waveshape of the normal operating voltage is non-sinusoidal. The core loss of such equipment is to be determined by applying a sinusoidal voltage having the same arithmetic mean value and the same fundamental frequency as the voltage applied in service.

**342 Measurement of the losses in the windings of the transformer**

The losses in the windings which appear under normal service conditions are composed of the losses in the winding resistance as measured by d.c. and the additional losses (depending on frequency) caused by eddy currents. Due to the harmonics, the actual losses in the windings would require to be measured with the transformer in normal operation with the rectifier assembly. This method of measurement cannot be recommended because it is too complicated and inaccurate. Therefore, the losses in the windings are to be computed from the result of short-circuit measurement carried out with sinusoidal currents. The method is based on the use of sinusoidal currents in the winding having the same r.m.s. values as those which would exist in operation with the rectifier assembly if the overlap was disregarded. This holds for double-way transformers. For single-way transformers, refer to Table I.

Owing to the fact that the r.m.s. values of the currents during normal operation with the rectifier assembly are somewhat smaller than those in the test, a *positive error* is encountered. This positive error is assumed to be compensated for by the *negative error* resulting from the fact that the additional stray losses caused by the harmonics in operation with the rectifier assembly are disregarded.

- 342.1 Sauf spécification contraire, les pertes garanties dans les enroulements se rapportent au fonctionnement sur la prise principale (paragraphe 138.1.2) de l'enroulement.
- 342.2 Le tableau I indique, pour certains des couplages les plus courants, les bornes à mettre en court-circuit pour les essais A, B et C respectivement.

342.3 *Essai de court-circuit*

Pour chacun des essais de court-circuit A, B et C, toutes les bornes de phase du côté réseau du transformateur sont alimentées par le courant nominal du côté réseau (paragraphe 138.1.4) à la fréquence nominale tandis que respectivement, les bornes du côté cellule sont mises en court-circuit comme l'indique le tableau I. Les puissances absorbées sont mesurées pendant les essais de court-circuit A, B et C et sont désignées par  $P_A$ ,  $P_B$  et  $P_C$  respectivement. Les pertes totales dans les enroulements sont alors calculées au moyen des formules indiquées dans le tableau (voir également paragraphe 342.2).

**343 Autres indications du tableau I**

343.1 *Facteur de courant côté réseau*

La valeur efficace  $I_L$  du courant côté réseau (paragraphe 138.1.4) par ampère du courant continu  $I_d$  est indiquée dans le tableau, en se basant sur les rapports de tensions suivants et en admettant que le courant continu est suffisamment filtré.

343.1.1 Pour les couplages à simple voie:

$$\frac{\text{Tension entre phases côté réseau}}{\text{Tension entre phase et neutre côté cellule}} = 1$$

343.1.2 Pour les couplages à double voie:

$$\frac{\text{Tension entre phases côté réseau}}{\text{Tension entre phases côté cellule}} = 1$$

343.2 *Tension continue fictive à vide  $U_{d10}$*

On peut calculer cette tension à partir de la tension nominale  $U_{v0}$  de l'enroulement côté cellule (paragraphe 138.1.3) en utilisant pour les couplages indiqués dans le tableau I les facteurs donnés

dans la colonne  $\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$ .

343.3 *Chute inductive de la tension continue  $d_{x1}$*

Pour  $\frac{d_{x1}}{e_{x1}}$ , voir paragraphe 443.3.

**344 Pertes dans les bobines d'absorption, inductances d'équilibrage du courant, inductances d'égalisation, transducteurs et inductances de régulation du courant**

344.1 *Bobine d'absorption*

- 344.1.1 Le constructeur doit indiquer la valeur calculée des pertes dans le fer pour le courant nominal, la tension nominale et la valeur du déphasage spécifiée.
- 344.1.2 Les pertes dans l'enroulement se calculent en multipliant la résistance en courant continu par le carré du courant continu dans l'enroulement (voir également paragraphe 340.1).

- 342.1 If not otherwise specified, the guaranteed losses in the windings refer to operation on the principal tap (Sub-clause 138.1.2) of the winding.
- 342.2 Table I indicates, for some of the most commonly used connections, the short-circuit connections to be made for tests A, B and C respectively.

342.3 *Short-circuit tests*

For each short-circuit test A, B and C respectively, rated line side current (Sub-clause 138.1.4) of rated frequency is to be fed into all line-side terminals, with the cell-side terminals short-circuited as indicated in Table I. The power inputs shall be measured in the short-circuit tests A, B, C and are designated  $P_A, P_B, P_C$ , respectively. The total losses in the windings are then calculated by the formulae given in the Table (see also Sub-clause 342.2).

**343 Other information given in Table I**

343.1 *Line side current factor*

The r.m.s. value  $I_L$  of the current on the line side (Sub-Clause 138.1.4) per ampere of direct current  $I_d$ , is indicated in the Table, on the basis of the following voltage ratios and on the assumption of smooth direct current.

- 343.1.1 For single-way connections:

$$\frac{\text{Phase-to-phase voltage on line side}}{\text{Phase-to-neutral voltage on cell side}} = 1$$

- 343.1.2 For double-way connections:

$$\frac{\text{Phase-to-phase voltage on line side}}{\text{Phase-to-phase voltage on cell side}} = 1$$

343.2 *Ideal no-load d.c. voltage  $U_{d10}$*

This voltage can be computed from the rated voltage  $U_{v0}$  of the cell winding (Sub-clause 138.1.3) for the connections given in Table I by the factors given in the column  $\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$

343.3 *The inductive d.c. voltage drop  $d_{xt}$*

For  $\frac{d_{xt1}}{e_{xt1}}$ , see Sub-clause 443.3.

**344 Losses in interphase transformers, current-balancing reactors, series smoothing reactors, transductors and current-regulating reactors**

344.1 *Interphase transformer*

- 344.1.1 The manufacturer shall state the calculated iron loss at rated current, rated voltage and specified amount of phase control.
- 344.1.2 The losses in the winding are to be calculated as the product of the d.c. resistance and the square of the direct current in the winding (see also Sub-clause 340.1).

344.2 *Inductances d'équilibrage du courant.*

344.2.1 Les pertes dans le fer dans les inductances d'équilibrage du courant sont négligées par convention.

344.2.2 Les pertes dans l'enroulement se calculent en multipliant la résistance mesurée en courant continu par le carré du courant efficace dans l'enroulement, calculé en se basant sur une forme d'onde rectangulaire du courant (voir également paragraphe 340.1).

344.3 *Inductance d'égalisation*

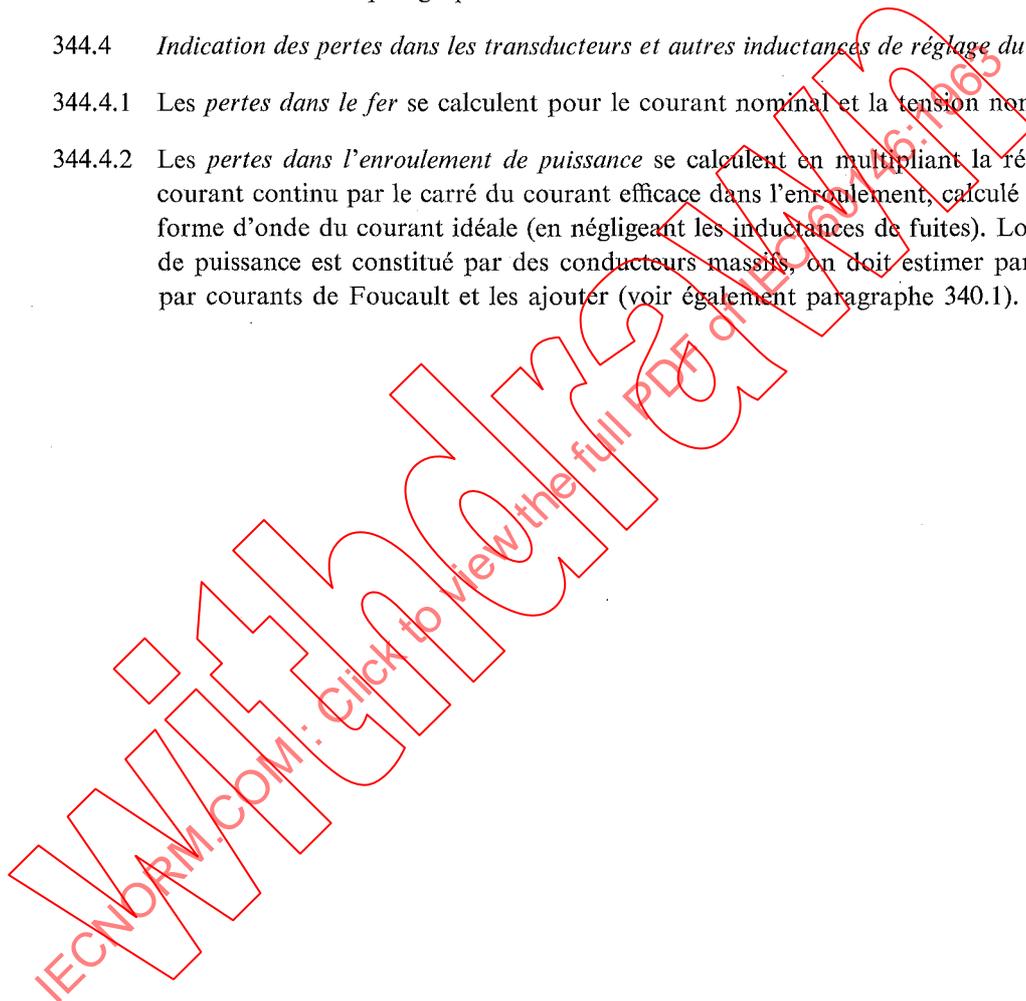
344.3.1 Les pertes dans le fer sont négligées par convention.

344.3.2 Les pertes dans l'enroulement se calculent en multipliant la résistance en courant continu par le carré du courant continu nominal qui passe dans l'enroulement. Sa résistance doit être corrigée conformément au paragraphe 340.1.

344.4 *Indication des pertes dans les transducteurs et autres inductances de réglage du courant*

344.4.1 Les pertes dans le fer se calculent pour le courant nominal et la tension nominale.

344.4.2 Les pertes dans l'enroulement de puissance se calculent en multipliant la résistance mesurée en courant continu par le carré du courant efficace dans l'enroulement, calculé en se basant sur une forme d'onde du courant idéale (en négligeant les inductances de fuites). Lorsque l'enroulement de puissance est constitué par des conducteurs massifs, on doit estimer par le calcul les pertes par courants de Foucault et les ajouter (voir également paragraphe 340.1).



344.2 *Current balancing reactors*

344.2.1 The iron losses in current balancing reactors are by convention to be ignored.

344.2.2 The losses in the winding are to be calculated as the product of the d.c. measured resistance and the square of the r.m.s. current in the winding, calculated on the basis of rectangular shaped current wave form (see also Sub-clause 340.1).

344.3 *Series smoothing reactor*

344.3.1 The iron losses are, by convention, to be ignored.

344.3.2 The losses in the winding are to be calculated as the product of the d.c. resistance and the square of the direct current in the winding. The resistance shall be corrected in accordance with Sub-clause 340.1.

344.4 *Declaration of losses in transductors and other current regulating reactors.*

344.4.1 The *iron losses* are to be calculated at rated current and rated voltage.

344.4.2 The *losses in the power winding* are to be calculated as the product of the d.c. measured resistance and the square of the r.m.s. current in the winding, calculated on the basis of idealized current waveform (ignoring stray inductances). When the power winding consists of heavy conductors, the eddy current losses should be estimated by calculation and added (see also Sub-clause 340.1).

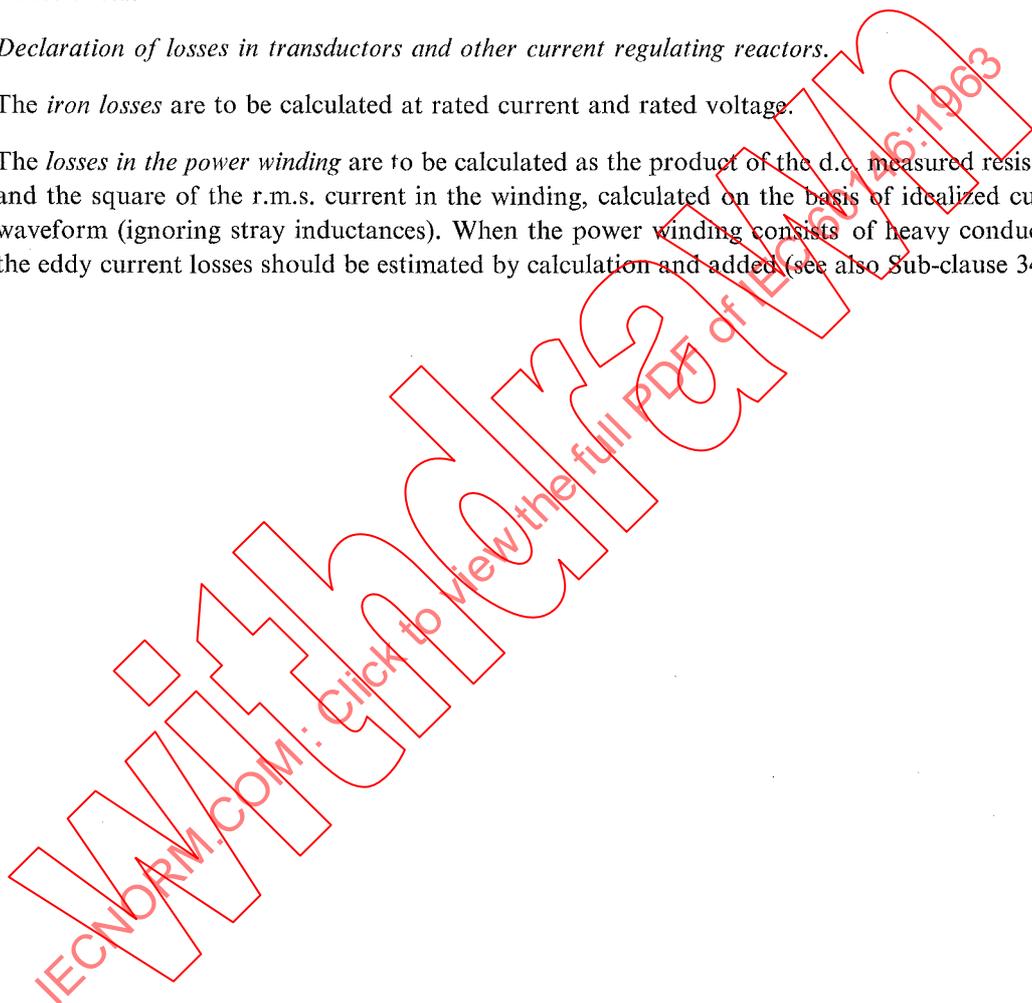
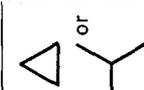
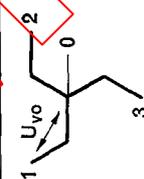
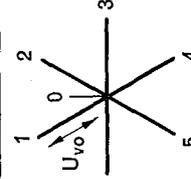
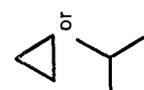
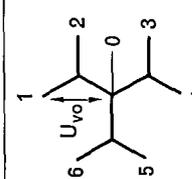
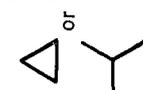
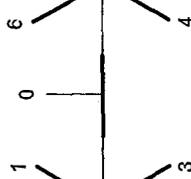
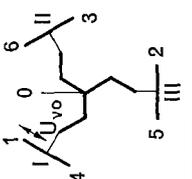
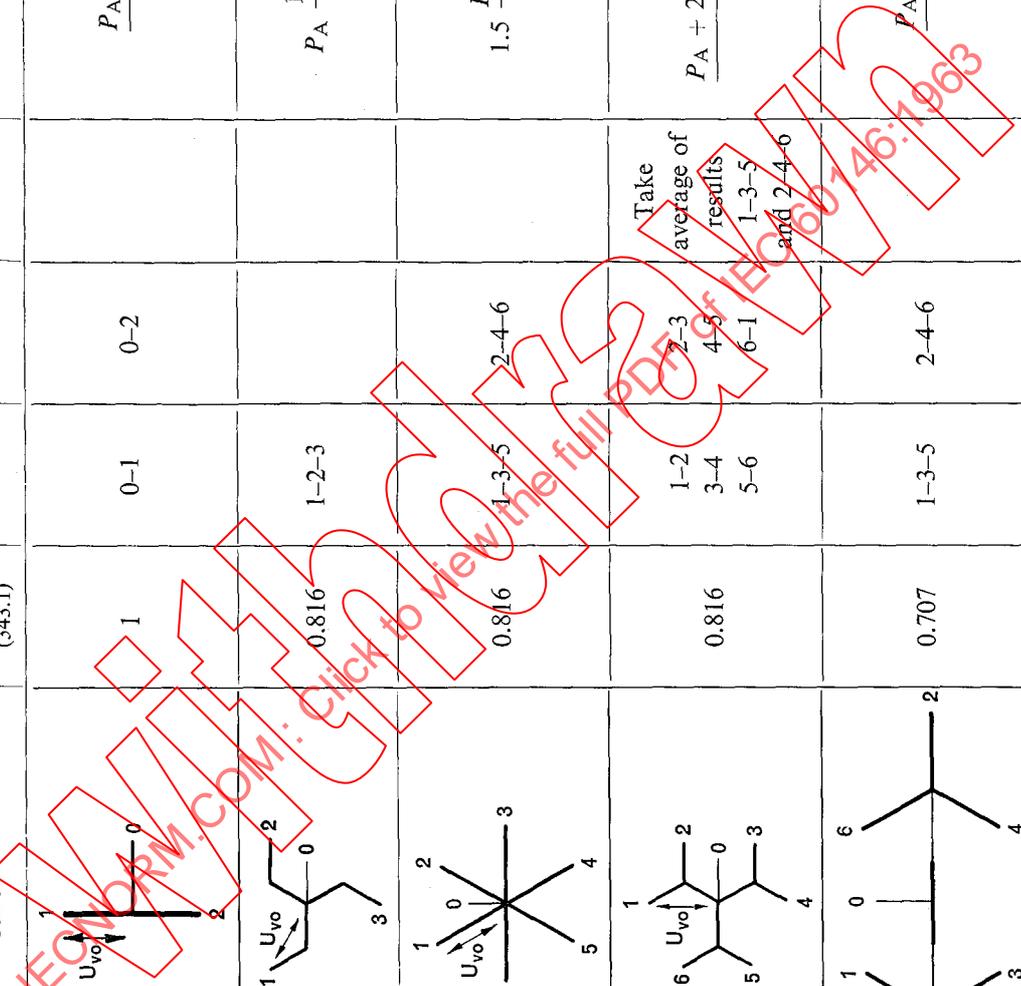


TABLEAU I — Montages à simple voie

N° du couplage	Représentation vectorielle des couplages		$\frac{I_L}{I_D}$ facteur de courant côté réseau (343.I)	Bornes à court-circuiter pour les essais			Pertes totales dans les enroulements	$\frac{U_{d10}}{U_{vo}}$	$\frac{d_{xt1}}{e_{x1}}$
	Côté réseau	Côté cellule		A	B	C			
1			1	0-1	0-2		$\frac{P_A + P_B}{2}$	0,9	—
2	 ou 		0,816	1-2-3			$P_A \frac{1 + 1,5k}{1 + k}$	1,17	0,866
3			0,816	1-3-5	2-4-6		$1,5 \frac{P_A + P_B}{2}$	1,35	1,5
4	 ou 		0,816	1-2 3-4 5-6	2-3 4-5 6-1	moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6	$\frac{P_A + 2P_B + 3P_C}{6}$	1,35	—
5	 ou 		0,707	1-3-5	2-4-6		$\frac{P_A + P_B}{2}$	1,17	0,5
6			0,544	1-3-5 I-II-III	2-4-6 I-II-III		$1,125 \frac{P_A + P_B}{2}$	0,9	—

Con- nec- tion num- ber	Connections in vector representation		$\frac{I_L}{I_D}$ Line-side current factor (343.1)	Tests: terminals to be short-circuited			Total losses in the windings	$\frac{U_{d10}}{U_{vo}}$	$\frac{d_{xt1}}{e_{x1}}$
	Line-side	Cell side		A	B	C			
1			1	0-1	0-2		$\frac{P_A + P_B}{2}$	0.9	—
2			0.816	1-2-3			$P_A \frac{1 + 1.5k}{1 + k}$	1.17	0.866
3			0.816	1-3-5	2-4-6		$1.5 \frac{P_A + P_B}{2}$	1.35	1.5
4			0.816	1-2 3-4 5-6	2-3 4-5 6-1	Take average of results 1-3-5 and 2-4-6	$\frac{P_A + 2P_B + 3P_C}{6}$	1.35	—
5			0.707	1-3-5	2-4-6		$\frac{P_A + P_B}{2}$	1.17	0.5
6			0.544	1-3-5 I-II-III	2-4-6 I-II-III		$1.125 \frac{P_A + P_B}{2}$	0.9	—



*Montage à double voie*

N° du couplage	Représentation vectorielle des couplages		$\frac{I_L}{I_D}$ facteur de courant côté réseau (343.7)	Bornes à court-circuiter pour les essais			Pertes totales dans les enroulements	$\frac{U_{dio}}{U_{vo}}$	$\frac{d_{kt1}}{\epsilon_{k1}}$
	Côté réseau	Côté cellule		A	B	C			
9			1	1-2			$P_A$	0,9	0,707
10			0,816	1-2-3			$P_A$	1,35	0,5
11			0,789	1-3-5	1-4-6		$\frac{P_A + P_B}{2} \cdot \frac{1 + 0,27k}{1 + 0,5k}$	1,35	0,26
12			0,789	moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6	2-3 4-5 6-1	1-2 3-4 5-6	$1,34 P_A - 0,08 P_B - 0,27 P_C$	1,35	0,26

k = rapport entre la somme des pertes dans les enroulements côté cellule et les pertes dans l'enroulement côté réseau pendant l'essai de court-circuit, déterminées à partir des résistances ohmiques des enroulements.

Double-way connections

Con- nec- tion num- ber	Connections in vector representation		$\frac{I_L}{I_D}$ Line-side current factor (343.1)	Tests: terminals to be short-circuited			Total losses in the windings	$\frac{U_{d10}}{U_{r0}}$	$\frac{d_{kt1}}{e_{x1}}$
	Line-side	Cell side		A	B	C			
9			1	1-2		$P_A$	0.9	0.707	
10			0.816	1-2-3		$P_A$	1.35	0.5	
11			0.789	1-3-5 2-4-6		$\frac{P_A + P_B}{2} \cdot \frac{1 + 0.27k}{1 + 0.5k}$	1.35	0.26	
12			0.789	Take average of results 1-3-5 and 2-4-6	1-2 3-4 5-6 2-3 4-5 6-1	$\frac{1.34 P_A}{2} - 0.08 P_B - 0.27 P_C$	1.35	0.26	

$k$  = the quotient of the sum of the losses in the cell-windings divided by the losses in line-winding in the short-circuit test, as determined from the ohmic resistances of the windings.

## **350 Essais d'isolement**

### **351 Exécution des essais d'isolement**

Le mode opératoire est le même que celui prévu dans les règles spécifiées pour les transformateurs de puissance (article 311).

### **352 Tensions d'essai à appliquer**

On applique les tensions d'essai suivantes à moins que les valeurs données ne soient inférieures à celles prévues dans les règles spécifiées pour les transformateurs de puissance (article 311), auquel cas on applique ces dernières.

#### *352.1 Transformateur principal*

Comme pour un transformateur de puissance.

#### *352.2 Bobine d'absorption et inductances d'équilibrage du courant*

Comme pour les transformateurs de puissance du type approprié et avec la même catégorie de tension que celle de l'enroulement côté cellule du transformateur principal. Cependant, si la bobine d'absorption ou les inductances d'équilibrage du courant sont reliées à l'extrémité courant continu des soupapes et sont du type sec, on applique la même tension d'essai que pour les éléments redresseurs (paragraphe 252.5).

#### *352.3 Inductance d'égalisation*

Même valeur que pour les éléments redresseurs (paragraphe 252.5). Cependant, si l'inductance est immergée dans l'huile dans la même cuve que le transformateur principal, on applique la tension d'essai de l'enroulement côté cellule de celui-ci.

## **360 Essais d'échauffement des transformateurs**

Si les essais d'échauffement du transformateur (articles 361–364) recommandés dans le présent rapport sont en contradiction avec les normes nationales d'un pays, les normes nationales de ce pays peuvent être considérées comme applicables s'il en a été ainsi convenu lors de la conclusion du contrat.

### **361 Généralités**

361.1 Dans la plupart des cas, l'échauffement d'un transformateur peut se calculer avec une précision suffisante à partir des résultats des essais d'échauffement effectués précédemment sur des transformateurs de construction comparable et, lorsque tel est le cas, il est déconseillé d'effectuer un essai d'échauffement sur le transformateur.

361.2 Dans le présent article, on suppose que l'essai effectué sur le transformateur pour s'assurer qu'il satisfait à l'échauffement spécifié est fait sans redresseur. L'essai s'effectue sur le transformateur dans les conditions normales de fonctionnement et avec toutes ses parties en place.

361.3 L'essai d'échauffement du transformateur peut être effectué à toute température appropriée ne dépassant pas 30°C pour l'air ou 25°C pour l'eau. Si la température de l'air ou de l'eau de refroidissement pendant l'essai est inférieure à ces valeurs normalisées, on ne doit faire de correction que dans le cas des transformateurs à refroidissement par air soufflé \*, auquel cas les limites d'échauffement spécifiées à l'article 432 doivent être réduites de 0,4 % par degré Celsius de différence entre 30°C et la température de l'air de refroidissement pendant l'essai.

\* Ce terme est employé dans la Publication 76 de la C.E.I.

## **350 Insulation tests**

### **351 Performance of insulation tests**

The test procedure is to be the same as called for in the specified rules for power transformers (Clause 311).

### **352 Test voltages to be applied**

The following test voltages are to be applied unless the values given are lower than those called for in the specified rules for power transformers (Clause 311), in which case the latter are to be applied.

#### *352.1 Main transformer*

As for a power transformer.

#### *352.2 Interphase transformer and current balancing reactors*

As for power transformers of appropriate type and with the same voltage class as that of the cell winding of the main transformer. However, if the interphase transformer or the current balancing reactors are connected to the d.c. end of the rectifying elements and are of dry type the same test voltage as for the rectifier stacks shall apply (Sub-clause 252.5).

#### *352.3 Series smoothing reactor*

Same as for the rectifier stacks (Sub-clause 252.5). However, if the reactor is oil immersed in the same tank as the main transformer, the test voltage of the cell winding of this transformer shall apply.

## **360 Transformer temperature-rise tests**

When the transformer temperature-rise tests (Clauses 361—364) recommended in this Report conflict with existing standards in a country, the national standards of that country may be considered as applicable if this was agreed when making the contract.

### **361 General**

361.1 In most cases, the temperature rise of the transformer can be computed with sufficient accuracy from the result, of the temperature-rise tests on previous transformers of comparable design, and where this is the case, the carrying out of a temperature-rise test on the transformer is not recommended.

361.2 In this clause, it is assumed that the test on the transformer for compliance with the specified temperature rise will be made separately from the rectifier. The test is made on the transformer in normal working condition with all its parts in place.

361.3 The temperature-rise test on the transformer may be performed at any convenient air temperature not exceeding 30°C, or water temperature not exceeding 25°C. If the temperature of the cooling air or water during the test is lower than these standard temperatures, correction shall only be made in the case of air-blast cooled \* transformers, where the limits of temperature rise specified in Clause 432 shall be reduced by 0.4 per cent per degree Celsius difference between 30°C and the cooling air temperature in the test.

\* This term is used in I.E.C. Publication 76.

361.4 Les essais d'échauffement doivent être effectués à la fréquence nominale.

### 362 Transformateurs immergés dans l'huile

362.1 Lorsqu'il n'est pas possible de produire à la fois les pertes dans le fer et les pertes dans le cuivre par des moyens séparés, c'est-à-dire en alimentant le transformateur à sa tension normale et en faisant passer simultanément du courant dans les enroulements, on doit effectuer un essai d'échauffement en court-circuitant les bornes secondaires appropriées et en appliquant aux bornes primaires une tension appropriée avec le nombre de phases et la fréquence corrects. Du fait que le rapport entre les courants primaire et secondaire pendant le fonctionnement du redresseur peut ne pas être identique à celui qui correspond aux conditions d'un essai de court-circuit, il est permis de porter la valeur du courant primaire pendant l'essai à une valeur ne dépassant pas les limites de résistance thermique de l'enroulement.

362.2 La puissance absorbée doit être maintenue constante et le fonctionnement poursuivi pendant une durée spécifiée à l'article 432. A la fin de cette durée, on doit mesurer les échauffements suivants:

- a) Echauffement de l'enroulement primaire par la méthode de variation de résistance.
- b) Température maximale de l'huile à la partie supérieure.
- c) Echauffements à l'entrée et à la sortie du réfrigérant, mesurés aussi près que possible de la cuve principale. Pour les transformateurs dans l'huile à refroidissement naturel, on doit prendre pour entrée et sortie du réfrigérant la surface à la partie supérieure et à la partie inférieure d'un tube de refroidissement, en choisissant le tube aussi près que possible du milieu de la rangée extérieure du plus grand faisceau de tubes. Dans le cas d'une circulation forcée de l'huile et d'un réfrigérant séparé, avec doigts de gant dans les tuyaux de raccordement d'entrée et de sortie adjacents au réservoir principal, les doigts de gant seront considérés comme représentant l'entrée et la sortie du réfrigérant.

362.3 Les pertes totales des appareils placés dans la cuve du transformateur doivent être calculées pour les conditions correspondant à la charge nominale.

362.4 Dans les formules suivantes, les grandeurs sont désignées par les symboles indiqués. Chaque symbole est affecté d'un indice, à savoir:

- $m$  = conditions correspondant à l'essai
- $1$  = conditions correspondant à la charge nominale
- Pertes totales des appareils placés dans la cuve du transformateur =  $P$
- Courant côté réseau =  $I_L$
- Echauffement de l'huile à la partie supérieure =  $t$
- Echauffement de l'enroulement côté réseau par méthode de variation de résistance =  $T$
- Rapport entre l'échauffement moyen réel de l'huile et l'échauffement de l'huile à la partie supérieure \* =  $k$
- Gradient de température de l'enroulement, c'est-à-dire valeur dont l'échauffement moyen de l'enroulement dépasse l'échauffement moyen réel de l'huile =  $G$

362.5 L'échauffement de l'huile à la partie supérieure, au-dessus de la température ambiante pour les conditions de charge nominale, est:

$$t_1 = t_m \cdot \left( \frac{P_1}{P_m} \right)^a$$

\* La valeur de  $k$  s'obtient comme suit:

$$k = \frac{\text{différence de température entre entrée et sortie du réfrigérant}}{2 \text{ fois l'échauffement maximal de l'huile à la partie supérieure}}$$

361.4 Temperature-rise tests shall be made at rated frequency.

**362 Oil-immersed transformers**

362.1 Where it is not practicable to supply both the iron and winding losses separately, i.e. by exciting at normal voltage and simultaneously circulating current in the windings, a temperature test shall be made by short-circuiting together the appropriate secondary terminals and supplying the primary terminals with a suitable voltage of correct number of phases and frequency. As the ratio of primary to secondary currents during rectifier operation may not be identical with the ratio which applies under the conditions of a short-circuit test, it is permitted to raise the primary current during the test to a value not exceeding the thermal limits of the winding.

362.2 The input power shall be held constant, and the test continued for the period specified in Clause 432. At the end of this period, the following measurements shall be made.

- a) Temperature rise of primary winding by resistance,
- b) Maximum temperature rise of top oil.
- c) Temperature rises of the inlet and outlet to the cooler, measured as close to the main tank as possible. For naturally cooled oil-immersed transformers, the inlet and outlet of the cooler shall be taken as the surface at the top and bottom of a cooling tube, the tube chosen being as close as practicable to the middle of the outside row of the biggest nest of tubes. In the case of forced oil circulation and separate cooler, with thermometer pockets in the inlet and outlet connecting pipes adjacent to the main tank, the thermometer pockets shall be taken as the inlet and outlet of the cooler.

362.3 The total loss in the apparatus in the transformer tank shall be calculated for rated load conditions.

362.4 In the following formulae, the quantities are designated by the symbols given. With each symbol, a suffix is used, viz.:

- m = test condition
- l = rated load condition
- Total loss in apparatus in transformer tank = P
- Line side current =  $I_L$
- Top oil temperature rise = t
- Temperature rise of line winding by resistance = T
- Ratio of effective average oil temperature rise to top oil temperature rise \* = k
- Winding temperature gradient, i.e. the amount by which the average temperature rise of the winding exceeds the effective average temperature rise of the oil = G

362.5 The top oil temperature rise, over the ambient for rated load condition is:

$$t_l = t_m \cdot \left( \frac{P_l}{P_m} \right)^a$$

\* The value of k is given by:

$$k = \frac{\text{Temperature difference between inlet and outlet of cooler}}{2 \times \text{maximum temperature rise of top oil}}$$

La valeur de «a» dépend du mode de refroidissement employé et est aussi influencée par la conception du transformateur. La valeur varie entre 0,75 et 1. L'acheteur et le constructeur doivent se mettre d'accord sur la valeur à utiliser pour les essais. En l'absence d'un tel accord, on doit prendre pour «a» les valeurs suivantes:

a = 0,75 pour les transformateurs dans l'huile à circulation par convection et à refroidissement naturel;

a = 1,0 pour les transformateurs dans l'huile refroidis à l'eau ou pour les transformateurs à circulation forcée d'huile et refroidis à l'eau.

362.6 L'échauffement, mesuré par variation de résistance, de l'enroulement côté réseau au-dessus de la température ambiante, pour les conditions de charge nominale, est:

$$T_1 = G_1 + kt_1$$

où:

$$G_1 = G_m \cdot \left( \frac{I_{L1}}{I_{Lm}} \right)^b$$

On doit prendre pour b les valeurs suivantes:

b = 1,5 pour les transformateurs à circulation d'huile par convection et à refroidissement naturel ou pour ceux refroidis à l'eau,

b = 2,0 pour les transformateurs à circulation forcée d'huile et refroidis à l'eau.

362.7 L'échauffement, mesuré par variation de résistance, de l'enroulement côté cellule doit être déterminé de façon analogue; par contre dans le cas des couplages pour lesquels il n'est pas possible de le faire, le constructeur doit délivrer un certificat attestant que les conditions thermiques de l'enroulement côté cellule sont conformes aux prescriptions du présent rapport.

### 363 Transformateurs du type sec

363.1 La méthode d'essai d'échauffement d'un transformateur du type sec doit faire intervenir la densité de flux normale et faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur du transformateur. Du fait que le rapport entre les courants côté réseau et côté cellule pendant le fonctionnement du redresseur peut ne pas être identique à celui qui correspond aux conditions de l'essai de court-circuit, il est permis de porter au cours de l'essai le courant primaire à une valeur ne dépassant pas les limites thermiques de l'enroulement.

*Note.* — Il sera nécessaire de corriger l'échauffement mesuré lors de l'essai de court-circuit pour tenir compte des pertes dans le fer en fonctionnement sous la tension normale.

363.2 Le courant absorbé doit être maintenu constant et l'essai poursuivi pendant la durée spécifiée à l'article 432. A la fin de cette durée, on doit mesurer, par variation de résistance, l'échauffement de l'enroulement primaire.

363.3 L'échauffement, mesuré par variation de résistance, de l'enroulement primaire au-dessus de la température ambiante, pour les conditions de charge nominale, doit être calculé par la formule:

$$T_1 = T_m \cdot \left( \frac{I_{L1}}{I_{Lm}} \right)^b$$

On doit prendre pour b les valeurs suivantes:

b = 1,5 pour le refroidissement naturel;

b = 2,0 pour la ventilation forcée.

The value of “a” depends on the cooling method and is also influenced by the design of the transformer. Its value varies between 0.75 and 1. The purchaser and manufacturer shall agree on the value to be used in the tests. When no such agreement is made, the value of “a” shall be taken as follows:

a = 0.75 when oil immersed, natural head, natural air cooled;

a = 1.0 when oil immersed and water cooled or when oil immersed, forced oil circulation and water cooled.

362.6 The temperature rise by resistance of the line winding over the ambient, for rated load conditions, is:

$$T_1 = G_1 + kt_1$$

where:

$$G_1 = G_m \cdot \left( \frac{I_{L1}}{I_{Lm}} \right)^b$$

The value of b shall be taken as follows:

b = 1.5 when oil immersed, natural head, natural air cooled, or when oil immersed and water cooled;

b = 2.0 when oil immersed, forced circulation and water cooled.

362.7 The temperature rise by resistance of the cell winding shall be determined in a similar manner provided, however, that in the case of connections for which this is impracticable, the transformer manufacturer shall give a certificate that the thermal conditions of the cell winding comply with the requirements of this Report.

### 363 Dry type transformers

363.1 The method of determining the temperature rise of dry type transformers shall be one involving normal flux density and shall be agreed between the purchaser and the transformer maker. As the ratio of line side to cell side currents during rectifier operation may not be identical with the ratio which applies under the conditions of a short-circuit test, it is permitted to raise the primary current during the test to a value not exceeding the thermal limits of the winding.

*Note.* — It will be necessary to correct the temperature rise measured in the short-circuit test for the iron losses when operating at normal voltage.

363.2 The input current shall be held constant and the test continued for the period specified in Clause 432, at the end of which period the temperature rise by resistance of the primary winding shall be measured.

363.3 The temperature rise by resistance of the line winding over the ambient temperature, for rated load conditions shall be calculated by the formula:

$$T_1 = T_m \cdot \left( \frac{I_{L1}}{I_{Lm}} \right)^b$$

The value of b shall be taken as follows:

b = 1.5 for natural air cooling;

b = 2.0 for air blast cooling.

363.4 L'échauffement, mesuré par variation de résistance, de l'enroulement côté cellule doit être déterminé d'une façon analogue à celle des paragraphes 363.2 et 363.3. Pour certains couplages, il n'est pas possible de déterminer l'échauffement par variation de résistance de l'enroulement côté cellule. En pareil cas, le constructeur du transformateur doit fournir un certificat indiquant que les conditions thermiques de l'enroulement côté cellule sont conformes aux prescriptions du présent rapport.

**364 Essai d'échauffement pour les transformateurs et bobines d'absorption pour la classe de service G (article 432)**

On doit déterminer les valeurs suivantes à partir des charges spécifiées ou du cycle de charge spécifié (s'il en existe) en prenant le cas le plus sévère :

$I_A$  = valeur efficace du courant pendant toute la période la plus sévère de 10 heures dans le cas des transformateurs immergés dans l'huile ou de 5 heures dans le cas des transformateurs à refroidissement naturel;

$I_B$  = valeur efficace pendant toute la période la plus sévère d'une demi-heure.

En partant de ces valeurs, on détermine un facteur F d'après le tableau II. La puissance équivalente en service continu du transformateur est alors égale au produit  $I_A \times F$ .

L'échauffement du transformateur correspondant à l'application constante de la charge équivalente en service continu doit être déterminé conformément aux articles 362 ou 363.

TABLEAU II  
Valeurs du facteur F

Facteur F		
$I_B/I_A$	Transformateurs immergés dans l'huile	Transformateurs à refroidissement naturel
jusqu'à 1,1	1,01	1,06
1,101 à 1,2	1,03	1,12
1,201 à 1,3	1,06	1,18
1,301 à 1,4	1,09	1,24
1,401 à 1,5	1,13	1,30
1,501 à 1,6	1,17	1,36
1,601 à 1,7	1,21	1,42
1,701 à 1,8	1,25	1,48
1,801 à 1,9	1,29	1,54
1,901 à 2,0	1,34	1,60
2,001 à 2,1	1,39	1,66
2,101 à 2,2	1,44	1,72
2,201 à 2,3	1,49	1,78
2,301 à 2,4	1,54	1,84
2,401 à 2,5	1,60	1,90
2,501 à 2,6	1,66	1,96
2,601 à 2,7	1,72	2,02
2,701 à 2,8	1,78	2,08
2,801 à 2,9	1,84	2,14
2,901 à 3,0	1,91	2,20

363.4 The temperature rise by resistance of the cell-side winding shall be determined in a similar manner to Sub-clause 363.2 and 363.3 where practicable. With certain connections it is not practicable to determine the temperature rise by resistance of the cell-side winding. In such cases the manufacturer of the transformer shall provide a certificate stating that the thermal conditions of the cell-side winding comply with the requirements of this Report.

**364 Temperature-rise test for main and interphase transformers to Rating Class G (Clause 432)**

The following values shall be determined from the specified loads or from the specified load cycle (if any), whichever be the more onerous:

$I_A$  = r.m.s. value of the current over the most onerous period of 10 hours in the case of oil-immersed transformers or of 5 hours in the case of air-cooled transformers;

$I_B$  = r.m.s. value over the most onerous period of 1/2 hour.

From these values, a factor F is to be determined from Table II. The equivalent continuous rating of the transformer is then equal to the product  $I_A \times F$ .

The transformer temperature rise, corresponding to steady application of the equivalent continuous rating, shall be determined in accordance with Clause 362 or 363.

TABLE II  
Values of factor F

$I_B/I_A$	Factor F	
	For oil-immersed transformers	For air-cooled transformers
to 1.1	1.01	1.06
1.101 to 1.2	1.03	1.12
1.201 to 1.3	1.06	1.18
1.301 to 1.4	1.09	1.24
1.401 to 1.5	1.13	1.30
1.501 to 1.6	1.17	1.36
1.601 to 1.7	1.21	1.42
1.701 to 1.8	1.25	1.48
1.801 to 1.9	1.29	1.54
1.901 to 2.0	1.34	1.60
2.001 to 2.1	1.39	1.66
2.101 to 2.2	1.44	1.72
2.201 to 2.3	1.49	1.78
2.301 to 2.4	1.54	1.84
2.401 to 2.5	1.60	1.90
2.501 to 2.6	1.66	1.96
2.601 to 2.7	1.72	2.02
2.701 to 2.8	1.78	2.08
2.801 to 2.9	1.84	2.14
2.901 to 3.0	1.91	2.20

### 370 Plaque signalétique

Chacun des transformateurs et inductances, à moins qu'ils ne fassent partie à l'origine d'un groupe redresseur fourni sous forme de groupe assemblé mécaniquement, doit porter l'indication «Transformateur» ou «Inductance» de redresseur, le nom du constructeur et/ou sa marque de fabrique, le numéro de fabrication et la désignation du type. Si plusieurs organes sont placés ensemble dans la même cuve, les indications les concernant peuvent être rassemblées sur une plaque commune.

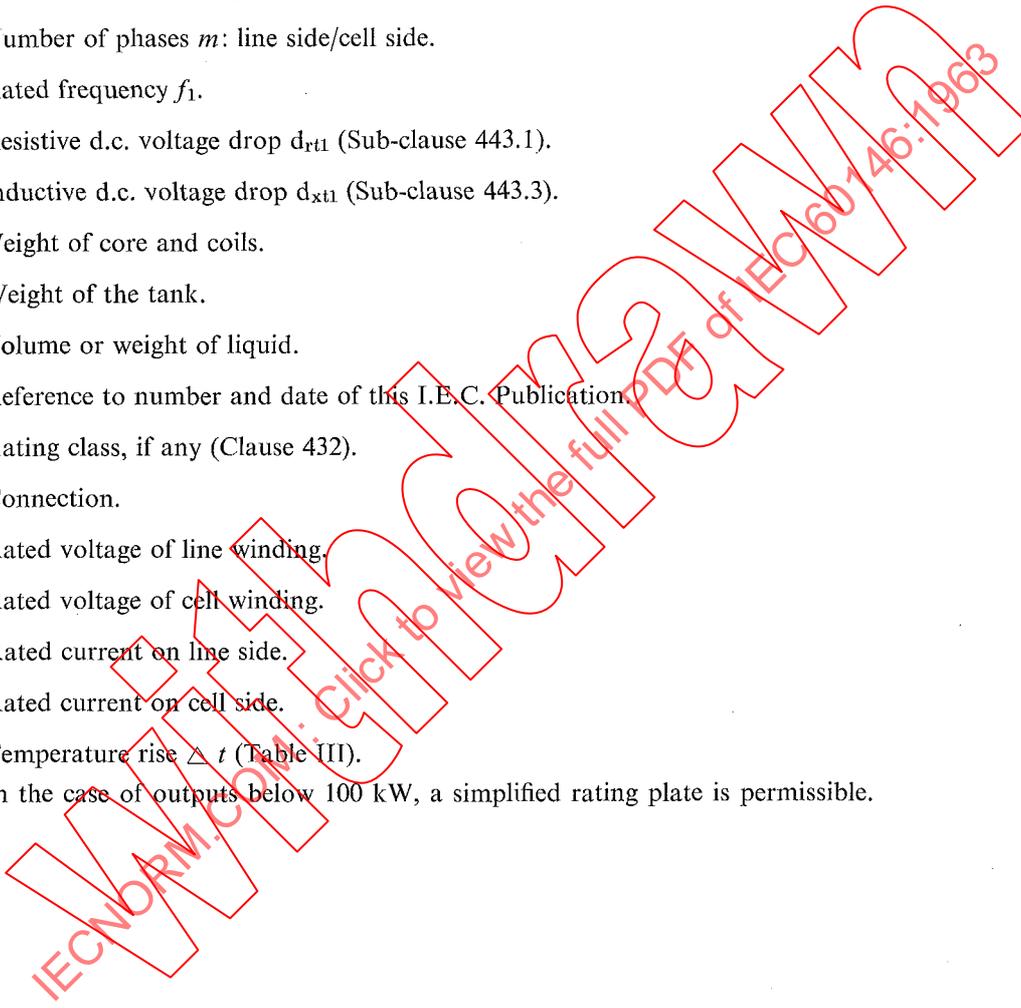
- 371 Le transformateur de redresseur doit porter une plaque signalétique (voir exemple) munie en caractères lisibles et indélébiles des indications suivantes:
- 371.1 Tension continue nominale  $U_{d1}$ .
  - 371.2 Courant continu nominal  $I_{d1}$ .
  - 371.3 Nombre de phases  $m$ : côté réseau/côté soupape.
  - 371.4 Fréquence nominale  $f_1$ .
  - 371.5 Chute ohmique de tension continue  $d_{rt1}$  (paragraphe 443.1).
  - 371.6 Chute inductive de tension continue  $d_{xt1}$  (paragraphe 443.3).
  - 371.7 Poids du noyau et des bobines.
  - 371.8 Poids de la cuve.
  - 371.9 Volume et poids du liquide.
  - 371.10 Mention du numéro et de la date de la présente publication de la C.E.I.
  - 371.11 Classe de service, s'il y a lieu (article 432).
  - 371.12 Couplage.
  - 371.13 Tension nominale de l'enroulement côté réseau.
  - 371.14 Tension nominale de l'enroulement côté cellule.
  - 371.15 Courant nominal côté réseau.
  - 371.16 Courant nominal côté cellule.
  - 371.17 Échauffement  $\Delta t$  (tableau III).  
Dans le cas où la puissance débitée est inférieure à 100 kW, il suffit d'une plaque signalétique simplifiée.

### 370 Rating plate

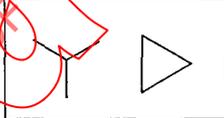
Every transformer and reactor, unless forming part of a rectifier equipment delivered as a mechanically assembled unit, shall bear the indication “Rectifier Transformer” or “Reactor”, the manufacturer’s name and/or trademark, the serial number and designation of type. If several items are placed together in the same tank, their indications can be put on a common plate.

- 371 The rectifier transformer shall bear a rating plate (see example) which shall give in clear and durable characters the following indications:
- 371.1 Rated d.c. voltage  $U_{d1}$ .
  - 371.2 Rated direct current  $I_{d1}$ .
  - 371.3 Number of phases  $m$ : line side/cell side.
  - 371.4 Rated frequency  $f_1$ .
  - 371.5 Resistive d.c. voltage drop  $d_{rt1}$  (Sub-clause 443.1).
  - 371.6 Inductive d.c. voltage drop  $d_{xt1}$  (Sub-clause 443.3).
  - 371.7 Weight of core and coils.
  - 371.8 Weight of the tank.
  - 371.9 Volume or weight of liquid.
  - 371.10 Reference to number and date of this I.E.C. Publication.
  - 371.11 Rating class, if any (Clause 432).
  - 371.12 Connection.
  - 371.13 Rated voltage of line winding.
  - 371.14 Rated voltage of cell winding.
  - 371.15 Rated current on line side.
  - 371.16 Rated current on cell side.
  - 371.17 Temperature rise  $\Delta t$  (Table III).

In the case of outputs below 100 kW, a simplified rating plate is permissible.



372 Exemple (non obligatoire) de plaque signalétique pour transformateur de redresseur.

CONSTRUCTEUR			
Transformateur de redresseur			
$U_{d1}$	500	V	$I_{d1}$
			10 000
			A
N°	C6800	Type	QP 26
$m$	$\frac{3}{6}$	Noyau et bobine	kg
$f_1$	50	Hz	Cuve
			kg
$d_{rt1}$	2	%	Huile
			kg
$d_{xt1}$	5	%	Echauffement
			55
			°C
Classe de service	B	Publication C.E.I.	146
	5 000 + 4 × 1 250	V	
			415
			V
	340-170	A	5 100
			A

**400 GROUPES ET ASSEMBLAGES REDRESSEURS**

**420 Couplages et facteurs pour les calculs**

**421 Couplages**

Le tableau I (pages 64 et 66) indique les couplages de transformateurs les plus courants. Les couplages 1 à 6 sont utilisés avec des éléments redresseurs en couplage à simple voie. Les couplages 9 à 12 sont utilisés avec des éléments redresseurs en couplage à double voie.

**422 Facteurs pour les calculs**

**422.1 Rapport de tension**

Le tableau donne pour les différents couplages le rapport:

$$\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$$

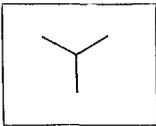
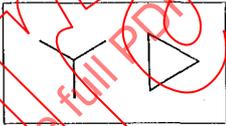
où:

$U_{d10}$  = tension continue fictive à vide,

$U_{v0}$  = tension de l'enroulement côté cellule du transformateur indiquée dans le tableau.

Cette valeur doit être utilisée dans les calculs conformes au présent rapport.

372 Example (non-mandatory) of rating plate for rectifier transformer

MANUFACTURER					
Rectifier Transformer					
$U_{d1}$	500	V	$I_{d1}$	10 000	A
No.	C6800		Type	QP 26	
$m$	$\frac{3}{6}$		Core and coils		kg
$f_1$	50	Hz	Tank		kg
$d_{rt1}$	2	%	Oil		kg
$d_{xt1}$	5	%	Temperature rise	55	°C
Rating Class	B		I.E.C. Publication	146	
	5 000 ± 4 × 1 250	V		415	V
	340-170	A		5 100	A

400 RECTIFIER EQUIPMENTS AND ASSEMBLIES

420 Electrical connections and calculation factors

421 Connections

Table I (pages 65 and 67) shows the most commonly used transformer connections. The transformer connections 1-6 are used together with rectifier stacks in single-way connections. The transformer connections 9-12 are used together with rectifier stacks in double-way connections.

422 Calculation factors

422.1 Voltage ratio

Table I gives the ratio

$$\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$$

for the different connections where:

$U_{d10}$  = ideal no-load d.c. voltage,

$U_{v0}$  = transformer cell winding voltage as shown in the Table.

This figure is to be used in the calculations according to this Report.

#### 422.2 *Variation de tension*

Le tableau I donne, pour les différents couplages, le rapport:

$$\frac{d_{xt1}}{e_{x1}}$$

où:

$d_{xt1}$  = variation de tension continue pour la charge nominale, due à la réactance du transformateur et exprimée en pour-cent,

$e_{x1}$  = composante inductive de la tension de court-circuit du transformateur pour la charge nominale, exprimée en pour-cent.

Cette valeur doit être utilisée pour les calculs conformes au présent rapport. Pour certains couplages, toutefois, voir paragraphe 443.3.

### 430 **Caractéristiques nominales**

#### 432 **Classes de service**

En fixant les surcharges (s'il en existe) qu'un groupe redresseur doit pouvoir supporter, on ne doit pas perdre de vue que les surcharges qui conviendraient au service particulier prévu peuvent ne pas convenir nécessairement aux caractéristiques naturelles de surcharge de l'assemblage redresseur ou à la caractéristique naturelle de surcharge du transformateur et des appareils qui lui sont associés, et il est nécessaire de faire un compromis. Le présent rapport fixe en conséquence un certain nombre de classes de service qui conviennent en gros aux différents types de service indiqués ci-dessous en regard de chaque classe.

432.1 Les groupes redresseurs classés conformément au présent rapport doivent pouvoir, selon leur classe, supporter sans dommage les charges indiquées dans le tableau III. Ce tableau indique également l'échauffement des enroulements de transformateur qui est admis lors des essais (article 360).

Notes 1) — Pour les classes de service C et F, il convient de noter que, bien que dans le cycle de charge nominale on admette une charge de 100% pendant 6 heures ou 3 heures respectivement avant l'application d'une quelconque des surcharges alternatives indiquées au paragraphe 432.1, la valeur efficace du cycle de charge peut être maintenue pendant 8 heures à la valeur du courant continu nominal.

2) — Pour les classes C et F, la condition d'essai à remplir pour la limite d'échauffement des enroulements de transformateur commence après 6 heures de fonctionnement avec le courant continu nominal, à partir de la température ambiante.

432.2 Quelle que soit la classe de service attribuée au groupe redresseur, les éléments et assemblages redresseurs dont il est constitué doivent pouvoir supporter les surcharges accidentelles dans les limites permises par les dispositifs de protection fournis ou recommandés par le constructeur (article 480).

432.3 Lorsque l'échauffement de toutes les parties du groupe redresseur a une valeur égale ou inférieure à celle qui correspond à la pleine charge, le groupe doit pouvoir supporter une surintensité momentanée dont la valeur et la durée soient celles nécessaires pour permettre aux dispositifs de réglage automatique ou de protection contre les surintensités de protéger toutes les parties contre les dommages.

#### 432.4 *Applications optimales*

Les classes A et B sont destinées au fonctionnement avec le courant nominal pendant de longues durées, des années par exemple, comme c'est le cas en électrochimie.

Les classes C et F sont destinées aux applications dans lesquelles la valeur efficace du cycle de charge peut être maintenue à la valeur du courant continu nominal pendant 8 heures, puis pendant 16 heures avec un maximum de 70% du courant continu nominal, au cours d'une période de 24 heures.

Les classes D et E sont destinées aux applications dans lesquelles la valeur efficace du cycle de charge mesurée pendant une période quelconque de 24 heures peut être maintenue à la valeur du courant continu nominal du redresseur pendant des durées indéfinies.

## 422.2 Voltage regulation

Table I gives the ratio

$$\frac{d_{xt1}}{e_{x1}}$$

for the different connections where:

$d_{xt1}$  = the d.c. voltage regulation at rated load, due to the transformer reactance, and expressed as a percentage,

$e_{x1}$  = the inductive component of the transformer impedance voltage at rated load, expressed as a percentage.

This figure is to be used in the calculations according to this report. However, for some connections, see Sub-clause 443.3.

## 430 Ratings

### 432 Rating classes

In fixing the overloads (if any) which a rectifier equipment is to be capable of carrying, it must be borne in mind that the overloads which would fit the particular service may not necessarily fit the natural overload characteristics of the rectifier assembly or the natural overload characteristic of the transformer and associated apparatus, and a compromise is necessary. This Report therefore establishes a number of rating classes, which are broadly suitable for the different types of service stated below, against each class.

432.1 Rectifier equipments rated in accordance with this report shall, according to their class, be capable of carrying the loads according to Table III without injury. The Table also gives the maximum permissible temperature rise of the transformer windings (Clause 360).

*Notes* 1) — In Rating Classes C and F, it should be noted that, although in the rated load cycle 100% load is permitted for six hours, or three hours respectively, before the application of any of the alternative overloads as indicated in Sub-clause 432.1, the r.m.s. value of the load cycle may be maintained at rated direct current for eight hours.

2) — For the classes C and F, the test condition for the limit of transformer winding temperature rise is, after six hours at rated direct current, starting at room temperature.

432.2 Notwithstanding the rating class assigned to the rectifier equipment, its constituent rectifier stacks and assemblies shall be capable of withstanding accidental overloads within the limits permitted by the protective devices as supplied or recommended by the manufacturer (Clause 480).

432.3 When the temperature rise of all the parts of the rectifier unit is at or below that corresponding to rated value, the unit shall be capable of withstanding a momentary over-current of such magnitude and duration as is necessary to allow the associated automatic load regulating equipment or over-current protection equipment to protect all the parts from injury.

### 432.4 *Most suitable applications*

Classes A and B are intended for operation at rated direct current for long periods of service, extending to years, as is the case for electrochemical service.

Classes C and F are intended to meet the needs of those applications in which the r.m.s. value of load cycle may be maintained at rated direct current of the rectifier for 8 hours followed by not more than 70% of rated direct current for 16 hours during a 24 hour period.

Classes D and E are intended to meet the needs of those applications where the r.m.s. value of the load cycle measured over any 24 hour period may be maintained at rated direct current of the rectifier for indefinitely long periods.

432.5 *Cycles de charge*

Pour les classes de service C et F, les courants supérieurs au courant continu nominal ne peuvent être appliqués que séparément et chacun après obtention des conditions de température qui seraient remplies si le groupe redresseur démarrait à la température ambiante pour fonctionner ensuite avec le courant continu nominal pendant la durée spécifiée pour 100 % du courant continu nominal.

Pour les classes de service B, D et E, les courants supérieurs au courant continu nominal ne peuvent être appliqués que séparément, et chacun après obtention de conditions de température ne dépassant pas les conditions constantes du fonctionnement en service continu avec 100 % du courant continu nominal.

TABLEAU III

Classe de service	Conditions de service, mode de refroidissement et classe d'isolation à spécifier par l'acheteur pour satisfaire à ses besoins				Conditions d'essai pour la limite d'échauffement des enroulements de transformateur mesurés par variation de résistance	
	Applications optimales	Cycle de charge nominal du groupe redresseur en % du courant continu nominal	Mode de refroidissement	Classe d'isolation	<sup>2)</sup> Echauffement max. admissible	Charge
A	Opération électrochimique	100 % continuellement	Air	A B	55°C 75°C	Après charge en service continu
			Liquide	A	55°C	
B	Opération électrochimique	100 % continuellement 150 % 1 min	Air	A B	55°C 75°C	Après charge en service continu
			Liquide	A	55°C	
C	Service industriel	100 % 6 h 125 % 2 h 200 % 10 s	Air	A B	40°C 55°C	Après 6 h Après charge à 100 % en service continu
			Liquide	A	55°C	
D	Service industriel	100 % continuellement 125 % 2 h 200 % 10 s	Liquide	A	55°C	Après charge en service continu
E	Moyenne traction et mines	100 % continuellement 150 % 2 h 200 % 1 min	Air	A B	35°C 50°C	Après charge en service continu
			Liquide	A	50°C	
F	Grande traction	100 % 3 h 150 % 2 h 300 % 1 min	Air	A B	30°C 45°C	Après 6 h à 100 %
			Liquide	A	50°C	
G	Cycle de service convenu	A convenir entre l'acheteur et le constructeur	Air	A B	55°C <sup>1)</sup> 75°C <sup>1)</sup>	Après charge en service continu
			Liquide	A	55°C <sup>1)</sup>	

<sup>1)</sup> Voir article 364.

<sup>2)</sup> Les échauffements indiqués dans le tableau pourront être révisés après que le Comité d'Etudes N° 14 aura terminé ses travaux sur la question.

432.5 Load cycles

For Rating Classes C and F, currents in excess of rated direct current may only be applied separately, each following the reaching of temperature conditions which would prevail if the rectifier equipment was started at room temperature and then operated at rated direct current for the period specified for 100% of rated direct current.

For Rating Classes B, D and E, currents in excess of rated direct current may only be applied separately, each following the reaching of temperature conditions not exceeding the constant temperature conditions of continuous operation at 100% of rated direct current.

TABLE III

Rating Class	Service conditions, type of cooling and insulation class to be specified by purchaser to suit his requirements				Test conditions for limit of transformer winding temperature rise measured by resistance method	
	Most suitable applications	Rated load cycle of the rectifier equipment in percent of rated direct current	Type of cooling	Insulation Class	Max. <sup>2)</sup> allowable temperature rise	Load
A	Electrochemical processes	100% continuous	Air	A B	55°C 75°C	After continuous load
			Liquid	A	55°C	
B	Electrochemical processes	100% continuous 150% 1 min	Air	A B	55°C 75°C	After continuous load
			Liquid	A	55°C	
C	Industrial service	100% 6 h 125% 2 h 200% 10 s	Air	A B	40°C 55°C	After 6 h After continuous load 100%
			Liquid	A	55°C	
D	Industrial service	100% continuous 125% 2 h 200% 10 s	Liquid	A	55°C	After continuous load
E	Medium traction and mining	100% continuous 150% 2 h 200% 1 min	Air	A B	35°C 50°C	After continuous load
			Liquid	A	50°C	
F	Heavy traction	100% 3 h 150% 2 h 300% 1 min	Air	A B	30°C 45°C	After 6 h at 100%
			Liquid	A	50°C	
G	Agreed duty cycle	To be agreed between purchaser and manufacturer	Air	A B	55°C <sup>1)</sup> 75°C <sup>1)</sup>	After continuous load
			Liquid	A	55°C <sup>1)</sup>	

1) See Clause 364.

2) Temperature rises given in the Table may be revised after work is completed by Technical Committee No. 14 on the subject.

#### **440 Indication des pertes ou du rendement, du facteur de puissance et de la variation de tension**

Lorsqu'il est prescrit d'indiquer les caractéristiques de fonctionnement, on doit appliquer les prescriptions appropriées des paragraphes ci-après.

#### **441 Pertes et rendement**

441.1 Le rendement du groupe redresseur est le rapport entre la puissance utile et la somme de la puissance utile et des pertes comprises.

Pour les groupes dont la puissance utile nominale ne dépasse pas 100 kW et dont les courants nominaux ne dépassent pas 5 000 A et pour les groupes monophasés de toutes dimensions, le rendement peut être indiqué au choix du constructeur en appliquant la méthode de mesure du rapport de la puissance absorbée à la puissance débitée ou celle de sommation des pertes séparées. Pour tous les autres groupes, on doit appliquer la méthode de sommation comme suit:

Le rendement global comprend les pertes dans toutes les parties du groupe redresseur qui sont normalement en fonction (transformateur, inductances et cellules) et la puissance absorbée par les appareils supplémentaires en faisant partie. Si l'un de ces appareils incorporé dans le groupe n'est pas pris en compte dans le calcul du rendement global, on doit indiquer séparément la puissance qu'il absorbe.

Pour certains des éléments constituant du groupe redresseur, on doit tenir compte des paragraphes suivants:

441.2 On doit comprendre les pertes suivantes pour la détermination du rendement:

441.2.1 Pertes intérieures dans l'assemblage redresseur telles que pertes dans les cellules et leurs connexions y compris les pertes dans les coupe-circuit, les diviseurs de tension, les dispositifs d'équilibrage du courant, les circuits d'amortissement à capacités et résistances et les parafoudres (paragraphe 472.2).

441.2.2 Pertes dans le transformateur, la bobine d'absorption, les inductances de limitation et d'équilibrage du courant entre le transformateur et les assemblages redresseurs. Pertes dans les transducteurs et autres inductances de réglage du courant, régulateurs d'induction, transformateurs de réglage. Pertes dans les transformateurs côté réseau et inductances faisant partie du groupe redresseur et fournies aux termes du même contrat.

441.2.3 Puissance absorbée par les auxiliaires telle que les ventilateurs ou pompes, les relais, les amplificateurs lorsqu'ils sont reliés en permanence.

441.2.4 Pertes dans les inductances d'égalisation et les filtres d'onde (paragraphe 344.3) lorsqu'ils sont incorporés dans le groupe.

441.2.5 Puissance absorbée par les appareils de réduction de l'augmentation de tension à vide lorsqu'ils sont continuellement en circuit.

441.3 Les pertes suivantes ne doivent pas être comprises lors de la détermination du rendement, mais doivent être indiquées séparément lorsque les appareils correspondants sont fournis par le constructeur du groupe.

441.3.1 Pertes dans les connexions principales entre le transformateur et l'assemblage redresseur et dans les connexions principales avec les disjoncteurs, sectionneurs, interrupteurs et avec la charge.

441.3.2 Pertes dans les disjoncteurs, sectionneurs, interrupteurs et dans les organes de commande autres que ceux énumérés dans les paragraphes 441.2.1 à 441.2.5.

441.3.3 Pertes dues au chauffage et à la ventilation du bâtiment et à l'alimentation en fluide de refroidissement.

## 440 Declaration of losses or efficiency, power-factor and regulation

Where it is required to declare performance, the requirements of the relevant sub-clauses below shall apply.

### 441 Losses and efficiency

441.1 The efficiency of the rectifier equipment is the ratio of the output to the sum of the output and the included losses.

For units not exceeding 100 kW rated output and rated currents not exceeding 5 000 A and for single-phase equipment of all sizes, the efficiency may be declared in terms of input-output method of measurement or by the method of summation of measured losses, at the choice of the manufacturer. For all other units, the summation method shall apply as follows.

The overall efficiency includes the losses in all parts of the rectifier equipments which are normally in operation (transformer, reactors and cells) and the power absorbed by additional apparatus which is included. If certain of the apparatus incorporated with the equipment is not taken into account for the total efficiency, the power absorbed by this must be stated separately.

For certain of the components in the rectifier equipment the following sub-clauses shall be considered.

441.2 The following losses shall be included when determining the efficiency.

441.2.1 The internal losses in the rectifier assembly such as losses in the cells and their connections including losses in fuses, potential dividers, current balancing means, capacitor-resistor damping circuits and voltage surge diverters (Sub-clause 472.2).

441.2.2 Losses in transformer, interphase transformer, current limiting and balancing reactors between transformer and rectifier assemblies and the losses of transducers and other current regulating reactors, induction regulators, regulating transformers, and the losses of line side transformers and reactors forming part of the rectifier equipment and delivered under the same contract.

441.2.3 Power absorbed by auxiliaries such as permanently connected fans or pumps, relays, amplifiers.

441.2.4 Losses in series smoothing reactors and in wave filters (Sub-clause 344.3), when built into the equipment.

441.2.5 Power absorbed by apparatus for reducing the no-load voltage rise, if continuously in circuit.

441.3 The following losses shall not be included when determining the efficiency but shall be stated separately if requested and if the apparatus concerned is supplied by the manufacturer of the rectifier equipment.

441.3.1 Losses due to the main connections between transformer and rectifier assembly, and in the main connections to circuit-breakers, disconnectors, switches and to the load.

441.3.2 Losses in circuit-breakers, disconnectors, switches, and in control gear other than the items mentioned in Sub-clauses 441.2.1 to 441.2.5.

441.3.3 Losses due to heating and ventilation of the building and in the cooling supply.

- 441.3.4 Pertes dues à la résistance de charge, s'il en existe, destinée à absorber le courant récupéré à partir du réseau à courant continu.
- 441.3.5 Pertes dues aux auxiliaires qui ne fonctionnent que par intermittence.
- 441.3.6 Pertes dans l'inductance d'égalisation ou dans le filtre d'ondes quand ils sont montés séparément.
- 441.4 En cas de doute sur le point de savoir si les pertes d'un élément constituant de groupe redresseur doivent être comprises ou non lors du calcul du rendement, il y a lieu de préciser si les pertes dans cet élément sont comprises dans le rendement indiqué.

**442 Facteur de puissance** (voir également article 135 pour les définitions)

- 442.1 Pour les redresseurs d'indice de pulsation égal ou supérieur à 6, le facteur de puissance global  $\lambda$  présente peu d'intérêt dans la pratique, la valeur utile pour les utilisations normales est le facteur de déphasage  $\cos \varphi$ .

Pour cette raison, si une garantie est prescrite, elle doit, sauf spécification contraire, porter sur le facteur de déphasage et les tensions du réseau alternatif symétriques et sinusoïdales à la fois.

L'indication du facteur de déphasage n'est prescrite que s'il y a eu accord en ce sens avant réception de la commande. En pareil cas, le facteur de déphasage doit être déterminé par calcul à partir des valeurs mesurées des réactances et du courant magnétisant dans les éléments constituant du groupe conformément à l'article 431 de la Publication 84, de la C.E.I. *sauf pour* les groupes de puissance utile nominale ne dépassant pas 100 kW et dont les courants nominaux ne dépassent pas 5 000 A, pour lesquels le constructeur peut, s'il le préfère, mesurer le facteur de déphasage directement (paragraphe 472.6.4).

Pour les groupes monophasés dont la puissance utile nominale dépasse 100 kW, la méthode de détermination du facteur de déphasage doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur.

- 442.2 Les inductances saturables et les transducteurs affectent le facteur de puissance, la chute de tension et la tension d'ondulation d'un redresseur de trois manières :

- 1) Réactance dans l'air (à saturation complète).
- 2) Pente de la courbe d'alimentation entre le flux résiduel et le flux maximal.
- 3) Courant magnétisant en-dessous du coude de saturation.

La première caractéristique s'ajoute simplement à l'impédance de commutation normale.

La dernière caractéristique produit l'effet d'un retard de phase.

La deuxième caractéristique produit ces deux effets à la fois à des degrés divers.

**443 Variation propre et variation totale de tension**

La variation propre de tension s'obtient en faisant la somme des chutes de tension continue produites par le transformateur et les autres parties du redresseur, telles qu'inductances, etc., et de la variation de la chute de tension directe dans l'assemblage redresseur.

Les chutes de tension doivent être rapportées à la prise principale du transformateur.

Lorsqu'il est nécessaire de déterminer la valeur de la variation propre de tension, on doit la calculer conformément au présent article à partir des résistances et réactances des éléments constituant du groupe mesurées conformément au présent rapport, *sauf pour* les groupes de puissance utile nominale ne dépassant pas 100 kW et dont les courants nominaux ne dépassent pas 5 000 A, pour lesquels on peut déterminer la variation de tension, si le constructeur le préfère, au moyen d'une mesure directe lors d'un essai du rapport de la puissance absorbée à la puissance débitée par un groupe.

Pour les groupes monophasés dont la puissance utile nominale dépasse 100 kW, la méthode de détermination de la variation propre de tension doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur.

- 441.3.4 Losses due to the loading resistance, if any, for absorbing regenerated current from the d.c. network.
- 441.3.5 Losses due to auxiliary apparatus which operates only intermittently.
- 441.3.6 Losses in the series smoothing reactor and/or wave filter, when mounted separately.
- 441.4 In any case of doubt whether the losses of a component of the rectifier equipment should be included or not when calculating the efficiency, it is to be stated whether the losses in it are included in the declared efficiency.

**442 Power-factor** (see also Clause 135 for definitions)

- 442.1 For rectifiers with a pulse number of 6 or more, the total power-factor  $\lambda$  is of little practical interest; the value which is useful for normal purposes is the displacement factor  $\cos \varphi$ .

For this reason, if a guarantee is required, it shall, unless otherwise specified, refer to the displacement factor and to voltages of the a.c. network which are both symmetrical and sinusoidal.

Declaration of the displacement factor is required only if so agreed before receipt of order. When required, the displacement factor shall be determined by calculation from the measured reactances and magnetizing current of the components of the equipment in accordance with Clause 431 of I.E.C. Publication 84, *except that* for equipments not exceeding 100 kW rated output and rated currents not exceeding 5 000 A the manufacturer may, if he prefers, measure the displacement factor directly (Sub-clause 472.6.4).

For single-phase equipment exceeding 100 kW rated output, the method of determining the displacement factor is to be agreed between purchaser and manufacturer.

- 442.2 Saturable reactors, transductors, affect the power-factor, voltage drop and ripple voltage of a rectifier in three ways:

- 1) Air-core reactance (at full saturation).
  - 2) Slope of magnetization curve from residual to maximum flux density.
  - 3) Magnetization current below saturation knee.
- The first characteristic merely adds to the normal commutating impedance.  
The last characteristic produces the effect of phase delay.  
The second characteristic produces both of these effects in varying degrees.

**443 Inherent and total voltage regulation**

The inherent voltage regulation is given by the sum of the d.c. voltage drops produced by the transformer and other parts of the rectifier, e.g. reactors, etc., plus the change in forward voltage drop with load in the rectifier assembly.

The voltage drops shall refer to the principal tap of the transformer.

When it is necessary to determine the value of the inherent voltage regulation, this shall be calculated according to this clause from the resistances and reactances of the components of the equipment measured according to this Report *except that*, for equipments not exceeding 100 kW rated output and rated current not exceeding 5 000 A, the voltage regulation may, if so preferred by the manufacturer, be determined by direct measurement in an input-output load test on the equipment.

For single-phase equipment exceeding 100 kW rated output, the method of determining the inherent voltage regulation is to be agreed between purchaser and manufacturer.

Pour le calcul de la variation supplémentaire de tension continue due à l'impédance du système à courant alternatif, on doit se reporter à la Publication 84 de la C.E.I.: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure, articles 443, 444 et 445.

443.1 *Détermination de la chute ohmique de tension  $d_{rt1}$  due au transformateur principal et à la bobine d'absorption*

On calcule  $d_{rt1}$  au moyen de la formule:

$$d_{rt1} = \frac{\text{pertes en watts dans les enroulements du transformateur pour le courant continu nominal}}{\text{courant continu nominal} \times \text{tension continue à vide fictive}} \times 100$$

exprimé en pour-cent de la tension continue fictive à vide.

443.2 *Détermination de la chute ohmique de tension  $d_{rb1}$  due à d'autres éléments* (tels que: inductances d'égalisation, transformateurs de réglage, inductances côté réseau...)

On calcule  $d_{rb1}$  au moyen de la formule:

$$d_{rb1} = \frac{\text{pertes en watts dans les enroulements de puissance pour le courant continu nominal}}{\text{courant continu nominal} \times \text{tension continue fictive à vide}} \times 100$$

exprimé en pour-cent de la tension continue fictive à vide.

443.3 *Détermination de la chute inductive de tension  $d_{xt1}$ , due au transformateur*

$d_{xt1}$  pour le courant continu nominal, exprimé en pour-cent de la tension continue fictive à vide, peut être calculé, pour les couplages 2, 3, 5, 9, 10 et 11 du tableau I, en faisant le produit du facteur donné dans la dernière colonne du tableau par la grandeur  $e_{x1}$ . Cette grandeur  $e_{x1}$  est la composante réactive de la tension de court-circuit, mesurée au courant côté réseau  $I_{L1}$  au moyen de l'essai de court-circuit A dans le cas des couplages 2, 9, 10 et 11, et prise comme la moyenne des valeurs données par les essais A et B dans le cas des couplages 3 et 5; elle s'exprime en pour-cent de la tension nominale de l'enroulement côté réseau. Pour les couplages énumérés ci-dessus, ceci doit être la méthode normale de calcul de  $d_{xt1}$ .

Pour tous les autres couplages, tant ceux indiqués dans le tableau I que les autres, on recommande la méthode décrite au paragraphe 331.2 et qui donne la mesure directe de  $d_{xt1}$ .

443.4 *Détermination de la chute inductive de tension  $d_{xb1}$  due à d'autres réactances* (telles que transformateurs de réglage, inductances côté réseau, inductances d'équilibrage du courant, etc.)

On calcule les valeurs de  $d_{xb1}$  au moyen des formules suivantes:

443.4.1 Pour les inductances, transformateurs, etc., du côté réseau, ou en cas de couplage à double voie, pour les inductances côté cellule.

443.4.1.1 Pour un système alternatif triphasé:

$$d_{xb1} = 100 \cdot \sqrt{3} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{I_{b1} X_b}{U_{b1}}$$

443.4.1.2 Pour un système alternatif monophasé:

$$d_{xb1} = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{b1} X_b}{U_{b1}}$$

443.4.2 Pour les inductances côté cellule (inductances dans les branches) avec couplage à simple voie:

$$d_{xb1} = 100 \cdot \frac{q^2}{2\pi p} \cdot \frac{I_{d1} X_b}{U_{dio}}$$

Les symboles utilisés dans ces formules représentent les grandeurs suivantes:

$X_b$  = réactance par phase de l'inductance, du transformateur, etc., en ohms.

For the calculation of the additional d.c. voltage regulation due to a.c. system impedance reference should be made to I.E.C. Publication 84, Recommendations for Mercury-arc Convertors, Clauses 443, 444 and 445.

443.1 *Determination of the resistive voltage drop  $d_{rt1}$  due to the main and interphase transformer*

$d_{rt1}$  is calculated by the formula:

$$d_{rt1} = \frac{\text{Watt losses in transformer windings at rated direct current}}{\text{Rated direct current} \times \text{ideal no-load d.c. voltage}} \times 100$$

expressed as a percentage of the ideal no-load d.c. voltage.

443.2 *Determination of the resistive voltage drop  $d_{rb1}$  due to other components (e.g. series smoothing reactors, regulating transformers, line side reactors, etc.).*

$d_{rb1}$  is calculated by:

$$d_{rb1} = \frac{\text{Watt losses in power windings at rated direct current}}{\text{Rated direct current} \times \text{ideal no-load d.c. voltage}} \times 100$$

expressed as a percentage of the ideal no-load d.c. voltage.

443.3 *Determination of the inductive d.c. voltage drop  $d_{xt1}$  due to the transformer.*

$d_{xt1}$  at rated direct current, expressed in per cent of the ideal no-load d.c. voltage can, for connections 2, 3, 5, 9, 10 and 11 of Table I, be computed as the product of the factor given in the last column of the Table and the quantity  $e_{x1}$ . This quantity  $e_{x1}$  is the reactive component of the short-circuit voltage measured at line-side current  $I_{l1}$  by short-circuit test A in the case of connections 2, 9, 10 and 11, and as the mean value given by tests A and B in the case of connections 3, 5 and as expressed in per cent of the rated voltage of the line winding. For the connections enumerated, above this shall be the normal method of computing  $d_{xt1}$ .

For all other connections, both those mentioned in Table I and others, the method described in Sub-clause 331.2 is recommended; by that method  $d_{xt1}$  is measured directly.

443.4 *Determination of the inductive d.c. voltage drop  $d_{xb1}$  due to other reactances (e.g. regulating transformers, line side reactors, current balancing reactors, etc.)*

The values of  $d_{xb1}$  are calculated according to the following formulae:

443.4.1 For reactors, transformers, etc., on line side, or with double-way connections, for reactors on cell winding side:

443.4.1.1 For 3-phase a.c. systems:

$$d_{xb1} = 100 \cdot \sqrt{3} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{I_{b1} X_b}{U_{b1}}$$

443.4.1.2 For single-phase a.c. systems:

$$d_{xb1} = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{b1} X_b}{U_{b1}}$$

443.4.2 For cell side reactors (arm reactors) with single-way connections:

$$d_{xb1} = 100 \cdot \frac{q^2}{2\pi p} \cdot \frac{I_{d1} X_b}{U_{dio}}$$

The symbols used in these formulae have the following meanings:

$X_b$  = reactance per phase of reactor, transformer, etc., in ohms.

- $I_{b1}$  = courant efficace dans l'inductance correspondant au courant continu nominal  $I_{d1}$ , calculé sur la base d'une forme d'onde rectangulaire pour le courant.  
 $U_{b1}$  = tension nominale entre phases aux bornes de l'inductance, etc.  
 $U_{d10}$  = tension continue fictive à vide.  
 $I_{d1}$  = courant continu nominal du convertisseur.  
 $p$  = indice de pulsation.  
 $q$  = indice de commutation.

- 443.5 *Détermination de la chute totale de tension continue produite par les transformateurs, inductances, etc.*  
La chute totale de tension continue pour le courant nominal, exprimée en pour-cent de la tension continue à vide fictive est donnée par :

$$(d_{rt} + d_{xt1}) + (d_{rb1} + d_{bx1}) = d_{t1} + d_{b1}$$

- $d_{t1}$  = chute totale de tension continue pour le courant continu nominal, due au transformateur principal et à la bobine d'absorption (s'il en existe) en pour-cent de  $U_{d10}$ ,  
 $d_{b1}$  = chute totale de tension continue pour le courant continu nominal, due aux autres parties du redresseur, telles qu'inductances, etc., en pour-cent de  $U_{d10}$ .

#### 444 **Variation de tension corrigée**

S'il est fait usage d'un régulateur automatique de tension, on doit indiquer les effets produits par le régulateur pour des variations spécifiées des grandeurs dont on doit combattre l'influence.

#### 445 **Composantes alternatives du côté continu**

On renvoie à la Publication 119 de la C.E.I. : Recommandations pour les éléments et groupes redresseurs à semiconducteurs polycristallins, article 324. Cet article ne traite pas des groupes redresseurs pour sous-stations de traction.

#### 446 **Harmoniques et questions connexes**

On renvoie à la Publication 84 de la C.E.I. : Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure, article 450.

### 450 **Prescriptions relatives au fonctionnement**

#### 451 **Cellules, éléments et assemblages redresseurs**

Les cellules, éléments et assemblages redresseurs utilisés dans les groupes redresseurs doivent être conformes au chapitre 200 du présent rapport.

#### 452 **Transformateurs, transducteurs et inductances**

Les transformateurs, transducteurs et inductances utilisés dans les groupes redresseurs doivent être conformes au chapitre 300 du présent rapport.

#### 453 **Appareils auxiliaires autres que ceux faisant l'objet des articles 451 et 452**

Les appareils auxiliaires montés dans des matériels tels que moteurs, dispositifs de commande, etc., doivent être conformes aux recommandations de la C.E.I. applicables à ces appareils.

#### 454 **Fonctionnement en parallèle d'assemblages et groupes redresseurs non réglables**

- 454.1 Le présent article traite des assemblages redresseurs utilisés lorsque le transformateur est fourni séparément.