

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 146

Deuxième édition — Second edition

1973

Convertisseurs à semiconducteurs

Semiconductor converters



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Revision of this publication

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

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

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 146

Deuxième édition — Second edition

1973

Convertisseurs à semiconducteurs

Semiconductor convertors



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Chapitres	
I. Généralités	6
105 Domaine d'application	6
110 Renvoi à diverses publications de la CEI	6
115 Liste des symboles littéraux employés	8
120 Définitions	14
130 Conditions de service	38
140 Exécution des essais	44
II. Diodes de redressement à semiconducteurs et thyristors	48
III. Transformateurs et bobines d'inductance	50
310 Généralités	50
320 Valeurs nominales des transformateurs pour convertisseurs	50
330 Pertes et chutes de tension dans les transformateurs et les bobines d'inductance	52
340 Essais des transformateurs de convertisseurs	54
IV. Groupes convertisseurs et blocs	60
410 Montages et facteurs de calculs	60
420 Pertes et rendement, facteur de puissance, facteur de conversion	68
430 Variation de tension	82
440 Harmoniques des courants et des tensions et effets associés	92
450 Protection	104
460 Valeurs nominales des groupes et blocs convertisseurs	108
470 Essais des blocs de diodes et groupes redresseurs	116
480 Essais des petits groupes convertisseurs à thyristors	128
490 Essais des blocs de thyristors et des groupes convertisseurs	130
V. Tolérances	142
VI. Prescriptions relatives au fonctionnement et données d'application	144
610 Montage en parallèle ou en série des diodes ou des thyristors	144
620 Fonctionnement en parallèle ou en série des blocs et des équipements	144
630 Auxiliaires des groupes redresseurs ou convertisseurs	146
640 Limites de tension pour une bonne commutation en fonctionnement onduleur	146
650 Conditions de surcharge	146
660 Stabilisation	148
670 Fonctionnement des convertisseurs simples et des convertisseurs doubles	150
680 Principe de fonctionnement des convertisseurs réversibles contrôlant des moteurs à courant continu	160
690 Conditions de fonctionnement de circuit qui influencent la tension appliquée aux éléments de circuit de convertisseur	164
ANNEXE A – Diodes de redressement à semiconducteurs et éléments redresseurs	166
ANNEXE B – Thyristors et éléments thyristors	200
ANNEXE C – Corrections à appliquer lorsque la température du fluide de refroidissement est supérieure à la valeur normale	262
ANNEXE D – Détermination des possibilités de surcharge par le calcul de la température virtuelle de jonction	264

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Chapter	
I. General	7
105 Scope	7
110 Reference to other IEC publications	7
115 List of principal letter symbols	9
120 Definitions	15
130 Service conditions	39
140 Performance of tests	45
II. Semiconductor rectifier diodes and thyristors	49
III. Transformers and reactors	51
310 General	51
320 Rated values for convertor transformers	51
330 Losses and voltage drops in transformers and reactors	53
340 Tests for convertor transformers	55
IV. Convertor equipments and assemblies	61
410 Electrical connections and calculation factors	61
420 Losses and efficiency, power factor and conversion factor	69
430 Voltage regulation	83
440 Harmonics in currents and voltages and associated effects	93
450 Protection	105
460 Rated values for assemblies and equipments	109
470 Tests for diode assemblies and rectifier equipments	117
480 Tests on small convertor equipments	129
490 Tests for thyristor assemblies and thyristor convertor equipments	131
V. Tolerances	143
VI. Performance requirements and application informations	145
610 Parallel or series connection of diodes or thyristors	145
620 Parallel or series operation of assemblies or equipments	145
630 Auxiliaries to rectifier or convertor equipments	147
640 Voltage limits for reliable commutation in inverter mode of operation	147
650 Overload conditions	147
660 Stabilization	149
670 Mode of operation of single and double convertors	151
680 Principle of operation for reversible convertors for control of d.c. motors	161
690 Circuit operating conditions affecting the voltage applied across convertor circuit elements	165
APPENDIX A – Semiconductor rectifier diodes and diode stacks	167
APPENDIX B – Thyristors and thyristor stacks	201
APPENDIX C – Corrections to be applied when cooling medium temperature is higher than standard	263
APPENDIX D – Determination of overload capability through calculation of virtual junction temperature	265

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS À SEMICONDUCTEURS

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente recommandation constitue une révision et un complément de la Publication 146 de la CEI: Cellules, éléments, assemblages et groupes redresseurs semiconducteurs monocristallins.

Un premier projet contenant des recommandations relatives aux convertisseurs à thyristors a été discuté lors d'une réunion tenue en 1962 à Bucarest par le Comité d'Etudes N° 22 et par son Sous-Comité 22B. Les discussions se sont poursuivies lors de réunions tenues à Montreux en 1963, à Berlin en 1964, à Tel-Aviv en 1966 et à Paris en 1968. Les travaux ont été associés à une révision de la Publication 146 de la CEI, pour constituer la recommandation fondamentale actuelle relative aux convertisseurs à semiconducteurs.

A la suite de la réunion de Paris, un projet définitif a été soumis aux Comités nationaux en septembre 1969, pour approbation suivant la Règle des Six Mois.

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

Afrique du Sud	Japon
Allemagne	Norvège
Australie	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Portugal
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Iran	Union des Républiques Socialistes
Israël	Soviétiques
Italie	Yougoslavie

Des recommandations séparées concernant des types spéciaux de convertisseurs ou des domaines d'application particuliers complètent cette recommandation fondamentale.

Les annexes A et B donnent suite aux décisions prises par le Comité d'Etudes N° 47 lors de l'achèvement des travaux relatifs à cette recommandation et sont incluses dans la recommandation en vue de la compléter. Les recommandations de la CEI concernant les dispositifs à semiconducteurs figurent dans les Publications 147 et 148.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR CONVERTORS

FOREWORD

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

PREFACE

This recommendation is a revision of and a supplement to IEC Publication 146: Monocrystalline Semiconductor Rectifier Cells, Stacks, Assemblies and Equipments.

In 1962, at a meeting in Bucharest, a first draft containing recommendations for thyristor convertors was discussed by Technical Committee No. 22 and its Sub-Committee 22B. Further discussions took place at meetings held in Montreux in 1963, in Berlin in 1964, in Tel Aviv in 1966 and in Paris in 1968.

The work was combined with a revision of IEC Publication 146 to form the present basic recommendation for semiconductor convertors.

As a result of the Paris meeting a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1969.

The following countries voted explicitly in favour of publication of this recommendation:

Australia	Netherlands
Austria	Norway
Belgium	Poland
Canada	Portugal
Czechoslovakia	South Africa
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Iran	United Kingdom
Israel	United States of America
Italy	Yugoslavia
Japan	

Separate recommendations for specific kinds of convertors or specific application areas are supplementing this basic recommendation.

The Appendices A and B conform with the decisions made by Technical Committee No. 47 at the time when the work on this recommendation was terminated and have been included in order to complete the publication. IEC recommendations for semiconductor components are given in Publications 147 and 148.

CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉS

105. **Domaine d'application**

Cette recommandation s'applique aux convertisseurs statiques de puissance dont la f.é.m. de commutation est fournie par un réseau à courant alternatif contenant une ou plusieurs machines synchrones pour la conversion de l'alternatif en continu ou du continu en alternatif, c'est-à-dire aux redresseurs, aux onduleurs et aux convertisseurs utilisant les deux types de fonctionnement.

Dans la mesure qui les concerne, la recommandation doit être aussi utilisée pour les convertisseurs contrôlant la tension alternative, et pour ceux où la tension de commutation est fournie par le circuit de charge, par exemple une charge résonnante.

La recommandation est limitée aux convertisseurs dans lesquels sont utilisés des diodes de redressement à semiconducteur, des thyristors à blocage inverse ou une combinaison des deux, mais elle peut aussi être employée pour les convertisseurs utilisant des thyristors bidirectionnels dans la mesure où elle est applicable. Le terme thyristor est utilisé dans la publication comme une abréviation pour le thyristor triode à blocage inverse.

La recommandation ne s'applique pas aux convertisseurs à commutation par des sources intérieures, par exemple des condensateurs, aux convertisseurs de fréquence, aux convertisseurs utilisés dans le matériel de télécommunication – abstraction faite de ceux fournissant la puissance – aux auxiliaires d'instruments de mesure ou aux équipements de commande contrôlant les convertisseurs statiques de puissance.

Des recommandations complémentaires pour certains types spéciaux de convertisseurs p.ex.: convertisseurs pour entraînement de moteurs à vitesse variable, convertisseurs pour traction électrique, convertisseurs d'ajustage de tension alternative, convertisseurs autocommutés, convertisseurs "courant continu/courant continu", etc., feront l'objet de publications CEI particulières.

110. **Renvoi à diverses publications de la CEI**

Termes relatifs aux conditions de fonctionnement d'une machine ou d'un appareil

Publication 50 (05), Section 41, de la CEI

Termes et définitions concernant les convertisseurs statiques

Vocabulaire Electrotechnique International, Chapitre 11
Publications 84, 84A et 84B de la CEI

Termes et définitions concernant les diodes de redressement et les thyristors

Publication 147-0 de la CEI

Symboles littéraux concernant les convertisseurs

Publications 84 et 84A de la CEI

Symboles littéraux concernant les diodes et les thyristors

Publication 148 de la CEI

Symboles graphiques concernant les convertisseurs statiques

Publication 117-6 de la CEI, Mod. N° 1, 1966

Symboles graphiques concernant les dispositifs à semiconducteurs

Publication 117-7 de la CEI

Caractéristiques nominales des diodes et thyristors

Publication 147-1 de la CEI

Méthodes de mesure applicables aux diodes et thyristors

Publication 147-2 de la CEI

CHAPTER 1: GENERAL

105. Scope

This recommendation applies to static power converters of the line- or machine-commutated type for conversion from a.c. to d.c. or from d.c. to a.c., that is, rectifiers, inverters and converters embodying both modes of operation.

When applicable the recommendation applies also to converters for control of alternating voltage and converters in which the commutating voltage is supplied by the load circuit, e.g. a resonating load.

The recommendation is restricted to converters with semiconductor rectifier diodes, reverse blocking triode thyristors or a combination of these, but it may also be applied for converters with bidirectional thyristors in so far as applicable. The term thyristor is used in the Publication as an abbreviation for reverse blocking triode thyristor.

The recommendation does not apply to converters in which the commutating voltage is supplied by internal sources, e.g. capacitors, frequency converters, converters used in telecommunication apparatus other than for power supplied to such apparatus, to auxiliaries of measuring instruments, or system control equipments for control of static power converters.

Additional recommendations for special kinds of converters, e.g. converters for adjustable speed d.c. motor drives, power converters for electric traction, converters for control of alternating voltage, self-commutated inverters, d.c. to d.c. converters, etc., will be given in separate IEC publications.

110. Reference to other IEC publications

Terms relating to the working conditions of a machine or apparatus	IEC Publication 50 (05), Section 41
Terms and definitions for static converters	International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 11 IEC Publications 84, 84A and 84B
Terms and definitions for rectifier diodes and thyristors	IEC Publication 147-0
Letter symbols for static converters	IEC Publications 84, and 84A
Letter symbols for rectifier diodes	IEC Publication 148
Graphical symbols for static converters	IEC Publication 117-6 Am. No. 1, 1966
Graphical symbols for semiconductor devices	IEC Publication 117-7
Ratings for rectifier diodes and thyristors	IEC Publication 147-1
Measuring methods for rectifier diodes and thyristors	IEC Publication 147-2

115. Liste des symboles littéraux employés

115.1 Liste des indices

0	à vide
N	valeur nominale ou pour la valeur nominale
b	dû aux bobines d'inductance
d	courant continu ou tension continue
f	relatif à la fréquence
i	fictif (ou idéal)
L	côté réseau
m	maximum
n	rang d'harmonique
p	inhérent
r	résistif
t	relatif au transformateur de convertisseur
v	côté cellules
x	inductif
α	commandé (par variation de l'angle de retard)
σ	ondulation

115.2 Liste des symboles

Les symboles littéraux relatifs aux termes utilisés pour les caractéristiques des composants semi-conducteurs figurent dans l'annexe A, article A1, pour les diodes et dans l'annexe B, article B1, pour les thyristors.

$\cos \varphi$	facteur de déphasage
$\cos \varphi'$	facteur de déphasage sans courant magnétisant et avec $\alpha = 0$
$\cos \varphi_N$	facteur de déphasage global pour I_{dN}
$\cos \varphi'_N$	facteur de déphasage pour I_{dN} , sans courant magnétisant et avec $\alpha = 0$
$\cos \varphi'_a$	facteur de déphasage pour I_d sans courant magnétisant et pour un angle de retard α
$\cos \varphi'_{aN}$	facteur de déphasage pour I_{dN} , sans courant magnétisant et pour un angle de retard α
d_b	chute de tension continue totale due aux bobines d'inductance de convertisseur en pourcentage de U_{di0} ($d_b = d_{rb} + d_{xb}$)
d_{bN}	valeur de d_b pour I_{dN}
d_l	chute de tension continue additionnelle due à l'impédance du réseau à courant alternatif
d_{lN}	la valeur de d_l pour I_{dN}
d_r	variation ou résistive de tension continue résistive totale en pourcentage de U_{di0}
d_{rN}	valeur de d_r pour I_{dN}
d_{rb}	variation résistive de la tension continue, due aux bobines d'inductance de convertisseur en pourcentage de U_{di0}
d_{rbN}	valeur de d_{rb} pour I_{dN}
d_{rt}	variation résistive de la tension continue, due au transformateur principal et à la bobine d'absorption, en pourcentage de U_{di0}
d_{rtN}	la valeur de d_{rt} pour I_{dN}
d_t	variation totale de la tension continue due au transformateur principal et à la bobine d'absorption, en pourcentage de U_{di0} ($d_t = d_{xt} + d_{rt}$)
d_{tN}	valeur de d_t pour I_{dN}
d_x	variation ou augmentation inductive totale de tension continue en pourcentage de U_{di0}
d_{xN}	valeur de d_x pour I_{dN}

115. List of principal letter symbols

115.1 List of suffixes

0	at no load
N	rated value or at rated load
b	due to convertor reactors
d	direct current or voltage
f	dependent on frequency
i	ideal
L	line
m	maximum
n	order of harmonic
p	inherent
r	resistive
t	due to convertor transformer
v	cell side
x	inductive
α	controlled (by delay angle variation)
σ	ripple

115.2 List of symbols

Letter symbols for terms used for semiconductor device properties are given in Appendix A, Clause A1, for diode terms, and in Appendix B, Clause B1, for thyristor terms.

$\cos \varphi$	displacement factor
$\cos \varphi'$	displacement factor in absence of transformer magnetizing current and with $\alpha = 0$
$\cos \varphi_N$	displacement factor at rated direct current
$\cos \varphi'_N$	the value of $\cos \varphi'$ at rated direct current
$\cos \varphi'_\alpha$	displacement factor in absence of transformer magnetizing current at a delay angle
$\cos \varphi'_{\alpha N}$	the value of $\cos \varphi'_\alpha$ at rated direct current
d_b	total direct voltage drop due to convertor reactors in per cent of U_{di0} ($d_b = d_{rb} + d_{xb}$)
d_{bN}	the value of d_b at rated direct current
d_L	additional direct voltage drop due to a.c. system impedance
d_{LN}	the value of d_L at rated direct current
d_r	total resistive direct voltage drop in per cent of U_{di0}
d_{rN}	the value of d_r at rated direct current
d_{rb}	resistive direct voltage regulation due to convertor reactors in per cent of U_{di0}
d_{rbN}	the value of d_{rb} at rated direct current
d_{rt}	resistive direct voltage regulation due to main and interphase transformer in per cent of U_{di0}
d_{rtN}	the value of d_{rt} at rated direct current
d_t	total direct voltage regulation due to main and interphase transformer in per cent of U_{di0} ($d_t = d_{xt} + d_{rt}$)
d_{tN}	the value of d_t at rated direct current
d_x	total inductive direct voltage regulation in per cent of U_{di0}
d_{xN}	the value of d_x at rated direct current

d_{xb}	variation inductive de tension continue due aux inductances du convertisseur en pourcentage de U_{di0}
d_{xbN}	valeur de d_{xb} pour I_{dN}
d_{xbLN}	partie de d_{xbN} due aux bobines d'inductance côté réseau
d_{xbvN}	partie de d_{xbN} due aux bobines d'inductance côté cellules
d_{xL}	variation inductive de tension continue, due aux inductances du réseau c.a., en pourcentage de U_{di0}
d_{xLN}	valeur de d_{xL} pour I_{dN}
d_{xt}	composant inductive de la tension court-circuit due au transformateur du convertisseur, en pourcentage de U_{di0}
d_{xtN}	valeur de d_{xt} pour I_{dN}
e_{xN}	composante inductive de la tension de court-circuit du transformateur du convertisseur, correspondant à I_{LN}
f_N	fréquence nominale
g	nombre d'ensembles de groupes commutants entre lesquels se partage I_{dN}
I_{bN}	courant efficace dans une inductance correspondant à I_{dN}
I_d	courant continu (n'importe quelle valeur spécifiée)
I_{dN}	courant continu nominal
I_{dmN}	courant continu maximal permanent nominal
I_L	courant côté réseau du transformateur
I_{LN}	courant nominal côté réseau
I'_{LN}	valeur conventionnelle de I_{LN}
I_{1LN}	composante fondamentale de I_{LN}
I_{nN}	valeur efficace de l'harmonique de rang n pour I_{dN}
I_{niN}	valeur idéale de I_{nN} pour $d_x = 0$
I_v	courant du transformateur, côté cellule
I_{vN}	courant nominal du transformateur côté cellules
K'	facteur de forme téléphonique du C.C.I.T.T.
K	rapport des facteurs de forme des courants continus
k	$k = 1, 2, 3 \dots$
k_t	facteur du C.C.I.T.T.
n	rang d'un harmonique
P	puissance (n'importe quelle valeur spécifiée)
P_{LN}	puissance active côté réseau au régime nominal
p	indice de pulsation
p_i, p_i''	facteurs de pondération du C.C.I.T.T.
Q_{LN}	puissance réactive côté réseau au régime nominal
q	indice de commutation
S_{LN}	puissance apparente nominale côté réseau
S_{1LN}	puissance apparente côté réseau au régime nominal basée sur I_{1LN}
S_m	puissance de court-circuit du réseau
s	nombre de groupes commutants en série
TIF	facteur d'interférence téléphonique
U_{bN}	tension nominale entre phases d'une bobine d'inductance côté réseau
U_d	tension continue (n'importe quelle valeur spécifiée)
U_{d0}	tension continue à vide conventionnelle
U_{d0a}	tension continue à vide contrôlée conventionnelle

d_{xb}	inductive direct voltage regulation due to convertor reactors in per cent of U_{d0}
d_{xbN}	the value of d_{xb} at rated direct current
d_{xbLN}	that part of d_{xbN} caused by line side reactors
d_{xbvN}	that part of d_{xbN} caused by cell side reactors
d_{xL}	inductive direct voltage regulation due to a.c. system reactance in per cent of U_{d0}
d_{xLN}	the value of d_{xL} at rated direct current
d_{xt}	inductive direct voltage regulation due to convertor transformer in per cent of U_{d0}
d_{xtN}	the value of d_{xt} at rated direct current
e_{xN}	inductive component of the short-circuit voltage of convertor transformer corresponding to I_{LN}
f_N	rated frequency
g	number of sets of commutating groups between which I_{dN} is divided
I_{bN}	r.m.s. current in reactor corresponding to I_{dN}
I_d	direct current (any defined value)
I_{dN}	rated direct current
I_{dmN}	rated continuous direct current
I_L	current on line side of transformer
I_{LN}	rated current on line side
I'_{LN}	conventional value of I_{LN}
I_{iLN}	fundamental wave of I_{LN}
I_{nN}	r.m.s. value of line current harmonic of order n at rated current
I_{niN}	ideal value of I_{nN} assuming $d_x = 0$
I_v	current on cell side of transformer
I_{vN}	rated current on cell side of transformer
K'	telephone form factor of C.C.I.T.T.
K	form factor of direct current
k	$k = 1, 2, 3$ etc.
k_i	factor of C.C.I.T.T.
n	order of harmonics
P	power (any defined value)
P_{LN}	real power on line side at rated load
p	pulse number
p_i, p''	weighing factors of C.C.I.T.T.
Q_{LN}	reactive power on line side at rated load
q	commutating number
S_{LN}	rated apparent power on line side
S_{iLN}	apparent power on line side at rated load based on I_{iLN}
S_m	short-circuit capacity of the a.c. system
s	number of series connected commutating groups
TIF	telephone interference factor
U_{bN}	rated phase-to-phase voltage at line side terminals of line reactor
U_d	direct voltage (any defined value)
U_{d0}	conventional no-load direct voltage
$U_{d0\alpha}$	controlled conventional no-load direct voltage

U_{d00}	tension continue réelle à vide
U_{dN}	tension continue nominale
U_{di0}	tension continue fictive à vide (ou idéale)
$U_{di0\alpha}$	tension continue fictive à vide contrôlée (ou idéale)
U_{db}	variation de tension, due aux bobines d'inductance
U_{dbN}	valeur de U_{db} pour I_{dN}
U_{dL}	variation de la tension continue, due à l'impédance du réseau courant alternatif
U_{dLN}	valeur de U_{dL} pour I_{dN}
U_{dpN}	tension continue fictive interne pour le courant nominal ($U_{dpN} = U_{dN} + U_{drN}$)
U_{dr}	variation résistive totale de la tension continue
U_{drN}	valeur de U_{dr} pour I_{dN}
U_{drbN}	variation résistive de la tension continue pour I_{dN} , due aux bobines d'inductance
U_{drtN}	variation résistive de la tension au régime nominal, due au transformateur du convertisseur
U_{dtN}	variation totale de la tension continue pour I_{dN} , due au transformateur principal et à la bobine d'absorption
U_{dxN}	variation inductive totale de la tension continue pour I_{dN}
U_{dxbN}	variation inductive de la tension continue pour I_{dN} , due aux bobines d'inductance
U_{dxbLN}	la partie de U_{dxbN} , due aux bobines d'inductance, côté réseau
U_{dxbvN}	la partie de U_{dxbN} , due aux bobines d'inductance, côté cellules
U_{dxLN}	variation de la tension continue pour I_{dN} , due à l'impédance du réseau à courant alternatif
U_{dxtN}	variation inductive de la tension continue pour I_{dN} , due au transformateur du convertisseur
U_f	valeur efficace de l'harmonique de fréquence f de la tension continue
U_{im}	tension de crête fictive d'un bras
U_{i0m}	tension de crête fictive à vide d'un bras
U_L	tension entre phases du côté réseau du transformateur
U_{LN}	tension nominale du côté réseau du transformateur
U_n	valeur efficace de l'harmonique d'ordre n de la tension continue
U_{nN}	valeur de U_n pour la tension continue nominale
U_{v0}	tension efficace à vide entre phases, côté cellules du transformateur
U_o	tension efficace d'ondulation, côté courant continu
u	angle d'empiètement
v	facteur de déformation
X_{bL}	réactance par phase, côté réseau
X_{bv}	réactance par phase, côté cellules
X_t	réactance de commutation par phase due au transformateur de convertisseur dans un groupe commutant
α	angle de retard
α_p	angle de retard propre
β	angle d'avance
γ	angle de marge
γ_{min}	valeur critique de l'angle de marge
δ	nombre de groupes commutant simultanément, par primaire ou par bobine d'inductance
λ	facteur de puissance global
θ_j	température virtuelle de jonction

$U_{d(0)}$	real no-load direct voltage
U_{dN}	rated direct voltage
$U_{di(0)}$	ideal no-load direct voltage
$U_{di(0)\alpha}$	controlled ideal no-load direct voltage
U_{db}	direct voltage drop due to convertor reactors
U_{dbN}	the value of U_{db} at rated current I_{dN}
U_{dL}	direct voltage regulation due to a.c. system impedance
U_{dLN}	the value of U_{dL} at rated current I_{dN}
U_{dpN}	fictitious internal direct voltage at rated current ($U_{dpN} = U_{dN} + U_{drN}$)
U_{dr}	total resistive direct voltage regulation
U_{drN}	the value of U_{dr} at rated direct current I_{dN}
U_{drbN}	resistive direct voltage regulation due to convertor reactors at rated current
U_{drtN}	resistive direct voltage regulation due to convertor transformer at rated load
U_{dtN}	total direct voltage regulation due to main and interphase transformers at rated current
U_{dxN}	total inductive direct voltage regulation at rated direct current
U_{dxbN}	inductive direct voltage regulation due to convertor reactors at rated direct current
U_{dxbLN}	that part of U_{dxbN} caused by line side reactance
U_{dxbvN}	that part of U_{dxbN} caused by cell side reactance
U_{dxLN}	inductive direct voltage regulation due to a.c. system reactance at rated current
U_{dxtN}	inductive direct voltage regulation due to convertor transformer at rated current
U_f	r.m.s. value of direct voltage harmonic of frequency f
U_{im}	ideal crest voltage of an arm
U_{i0m}	ideal crest no-load voltage of an arm
U_L	phase-to-phase voltage on line side of transformer
U_{LN}	rated voltage on line side of transformer
U_n	r.m.s. value of harmonic of order n in the direct voltage
U_{nN}	the value of U_n at rated direct voltage
U_{v0}	r.m.s. phase-to-phase voltage on cell side of transformer at no load
U_o	r.m.s. ripple voltage on d.c. side
u	angle of overlap
v	distortion factor
X_{bL}	reactance per phase on line side
X_{bv}	reactance per phase on cell side
X_t	commutating reactance per phase in a commutating group due to convertor transformer
α	delay angle
α_p	inherent delay angle
β	angle of advance
γ	margin angle
γ_{min}	critical value of the margin angle
δ	number of commutating groups commutating simultaneously per primary or per reactor
λ	total power factor
θ_j	virtual junction temperature

120. **Définitions**

121. **Termes généraux**

121.1 *Diode de redressement à semiconducteur* (en abrégé: diode)

Dispositif de redressement monocristallin ayant une jonction redresseuse présentant une conductibilité unidirectionnelle, complet dans son enveloppe et muni de moyens de refroidissement si ceux-ci en constituent une partie intégrante.

121.2 *Thyristor triode de blocage inverse*

Dispositif à semiconducteur monocristallin à conductibilité unidirectionnelle, ayant une caractéristique bistable dans le sens direct, trois jonctions PN et comportant une électrode de gâchette.

L'application d'un signal électrique approprié à l'électrode de gâchette provoque le passage de l'état de non-conduction à l'état de conduction. Ce passage s'effectue dans le premier quadrant de la caractéristique courant/tension de l'anode par rapport à la cathode. Les moyens de refroidissement sont compris s'ils font partie intégrante de l'appareil.

Note. — Le terme a été abrégé dans le texte en thyristor.

121.2.1 *Thyristor à gâchette P*

Thyristor dans lequel la gâchette est connectée à la région *P* la plus rapprochée de la cathode et qui est normalement rendu conducteur par l'application d'un signal positif entre gâchette et cathode.

121.2.2 *Thyristor à gâchette N*

Thyristor dans lequel la gâchette est connectée à la région *N* la plus rapprochée de l'anode et qui est normalement rendu conducteur par l'application d'un signal négatif entre gâchette et anode.

121.3 *Élément redresseur à diodes* (en abrégé: élément à diodes)

Groupelement unitaire d'une ou de plusieurs diodes redresseuses avec le ou les dispositifs de montage correspondants, organes de refroidissement s'il en existe, moyens de raccordement électriques ou mécaniques, et composants auxiliaires s'il en existe.

121.4 *Élément à thyristors*

Groupelement unitaire d'un ou de plusieurs thyristors avec le ou les dispositifs de montage correspondants, organes de refroidissement s'il en existe, moyens de raccordement électriques ou mécaniques et composants auxiliaires, s'il en existe. Un élément thyristor peut également consister en une combinaison de thyristors et de diodes, et dans ce cas il sera désigné par "élément hétérogène".

Aucun dispositif de commande n'est compris dans cette définition.

121.5 *Bloc redresseur* (ou bloc de diodes)

Assemblage électrique et mécanique et accessoires de diodes ou d'éléments à diodes, complet avec tous ses moyens de raccordement ainsi que les moyens de refroidissement, s'il en existe, compris dans son enveloppe mécanique, mais sans les transformateurs, dispositifs de coupure et autre organes auxiliaires.

120. **Definitions**

121. **General terms**

121.1 *Semiconductor rectifier diode* (abbreviated to diode)

A monocrystalline rectifying device having one rectifier junction which presents an asymmetrical conductivity, complete in its envelope and with cooling means if integral with it.

121.2 *Reverse blocking triode thyristor*

A monocrystalline, reverse blocking semiconductor device with bistable character in the forward direction, normally having three PN-junctions and a gate electrode at which a suitable electrical signal will cause switching from the off-state to the on-state within the first quadrant of the anode to cathode voltage-current characteristic. If cooling means are integrated, they are included.

Note. — In this document, this term is abbreviated to thyristor.

121.2.1 *P-gate thyristor*

A thyristor in which the gate terminal is connected to the *P*-region nearest the cathode and which is normally switched to the on-state by applying a positive signal between gate and cathode terminals.

121.2.2 *N-gate thyristor*

A thyristor in which the gate terminal is connected to the *N*-region nearest the anode and which is normally switched to the on-state by applying a negative signal between gate and anode terminals.

121.3 *Diode stack*

A single structure of one or more semiconductor rectifier diodes with its (their) associated mounting(s), cooling attachments if any, connections whether electrical or mechanical and auxiliary components if any.

121.4 *Thyristor stack*

A single structure of one or more thyristors with its (their) associated mounting(s), cooling attachments if any, connections whether electrical or mechanical and auxiliary components if any. A thyristor stack may consist of thyristors and semiconductor rectifier diodes in combination and in this case it may be referred to as a non-uniform thyristor stack.

No trigger equipments are included in this definition.

121.5 *Diode assembly*

An electrically and mechanically combined assembly of diodes or diode stacks, complete with all its connections and auxiliary components together with means for cooling if any, in its own mechanical structure, but without the converter transformers, switching devices and other auxiliaries.

121.6 *Bloc convertisseur à thyristors (ou bloc de thyristors)*

Assemblage électrique et mécanique de thyristors en combinaison avec des diodes s'il en a, ou d'éléments thyristors complets avec tous ses moyens de raccordement et dispositifs accessoires ainsi que les moyens de refroidissement, s'il en existe, compris dans son enveloppe mécanique mais sans les transformateurs et dispositifs de coupure.

Note. — Un bloc de thyristors peut être constitué de plusieurs sous-ensembles fabriqués et commercialisés constituant des groupements unitaires, par exemple d'éléments thyristors (paragraphe 121.4) ou d'autres combinaisons d'un ou de plusieurs thyristors, avec ses dispositifs de commande, ses dispositifs de protection, etc.

121.7 *Groupe convertisseur (ou convertisseur)*

Ensemble fonctionnel pour la conversion de puissance comprenant un ou plusieurs blocs redresseurs à diodes ou blocs convertisseurs à thyristors ainsi que les transformateurs convertisseurs à thyristors, les organes de connexion et autres accessoires s'il en existe.

121.7.1 *Groupe redresseur*

Groupe convertisseur destiné à la conversion du courant alternatif en courant continu permettant le transfert de l'énergie seulement du côté courant alternatif vers le côté courant continu.

121.7.2 *Groupe convertisseur à thyristors*

Groupe convertisseur comprenant un ou plusieurs blocs convertisseurs à thyristors. Les équipements de contrôle ne sont normalement pas inclus.

Note. — Pour les petits groupes convertisseurs à thyristors, l'équipement de contrôle du courant et de la tension continue peut faire partie du convertisseur.

121.8 *Générateur d'impulsions*

Dispositif qui, à partir d'un signal de commande, fournit aux thyristors d'un convertisseur les impulsions appropriées d'amorçage et qui comporte des circuits de déphasage, des circuits générateurs d'impulsions et des circuits d'alimentation.

121.9 *Dispositif de réglage*

Dispositif associé à un groupe convertisseur qui permet le réglage automatique des caractéristiques de sortie en fonction d'une grandeur à laquelle le convertisseur est asservi (vitesse d'un moteur, effort de traction, etc.).

121.10 *Élément de circuit de convertisseur*

Partie de circuit d'un convertisseur, comprenant un ou plusieurs dispositifs, contrôlés ou non, qui commutent périodiquement, conduisent dans la même direction, et qui est limitée par un maximum de deux bornes principales.

Note. — Ce terme ainsi que les symboles correspondants sont destinés à être utilisés dans l'étude des montages de diodes de redressement et de thyristors.

Un élément de circuit de convertisseur est souvent appelé bras ou branche.

121.11 *Soupape "by-pass" (thyristor)*

Soupape redresseuse à thyristors permettant de dériver le courant passant normalement par un autre circuit du convertisseur.

Note. — Les soupapes by-pass à thyristors sont utilisées, en règle générale, pour permettre au courant de charge de s'écouler par une voie différente de celle des soupapes principales du convertisseur lorsque ces dernières ne peuvent laisser passer ce courant.

121.6 *Thyristor assembly*

An electrically and mechanically combined assembly of thyristors in combination with diodes, if any, or thyristor stacks, complete with all its connections and auxiliary components together with means for cooling if any, in its own mechanical structure, but without the convertor transformers and switching devices.

Note. — A thyristor assembly may be combined of several sub-assemblies, which are made and traded as mechanically combined units, e.g. thyristor stacks (Sub-clause 121.4) or other combinations of one or more thyristors with control devices, protective devices, etc.

121.7 *Convertor equipment (or convertor)*

An operating unit for power conversion comprising one or more diode or thyristor assemblies together with convertor transformers, essential switching devices and other auxiliaries if any.

121.7.1 *Rectifier equipment*

A convertor equipment for conversion of alternating current to direct current with a possible transfer of energy only from the a.c. side to the d.c. side.

121.7.2 *Thyristor convertor equipment (or thyristor convertor)*

A convertor equipment comprising one or more thyristor assemblies. System control equipments are normally not included.

Note. — For small thyristor converters, system control equipments for direct current or direct voltage control may be incorporated in the convertor unit.

121.8 *Trigger equipment*

An equipment for conversion of a control signal to suitable trigger pulses for the thyristors in a thyristor assembly including phase shifting circuits, pulse generating circuits and as a rule power supply circuits.

121.9 *System control equipment*

An equipment associated with a convertor equipment which performs automatic adjustment of the convertor output characteristics as a function of a controlled quantity (motor speed, tractive force, etc.).

121.10 *Convertor circuit element*

A portion of a convertor connection containing one or more controlled or uncontrolled, periodically switched devices conducting in the same direction, bounded by no more than two principal circuit terminals.

Note. — This term and corresponding symbols are intended for use in the study of rectifier diode and thyristor connections.

In a convertor connection, a circuit element is often referred to as an arm or branch.

121.11 *By-pass diode (thyristor)*

A rectifier diode (thyristor) providing an alternative path for taking over the current from other convertor circuit elements.

Note. — By-pass diodes (thyristors) are, as a rule, introduced to provide an alternative path for load current, when this cannot be accepted during all time intervals by the principal convertor circuit elements.

121.12 *Montage convertisseur*

Combinaison de circuits constitués de trajets de redressement correspondant à un schéma caractérisé par un indice de pulsation et un indice de commutation déterminés.

121.13 *Montage redresseur*

Montage convertisseur particulier pour la conversion de courant alternatif en courant continu.

121.14 *Montage à une voie (voir exemples tableau II)*

Montage constituant un convertisseur simple dans lequel les connexions à courant alternatif alimentant le bloc du convertisseur sont parcourues par un courant unidirectionnel.

121.15 *Montage à deux voies (voir exemples tableau II)*

Montage constituant un convertisseur simple dans lequel les connexions à courant alternatif alimentant le bloc du convertisseur sont parcourues par un courant bidirectionnel.

121.15.1 *Montage homogène à deux voies*

Montage dont toutes les branches sont identiques.

121.15.2 *Montage hétérogène à deux voies*

Montage constitué en partie par des éléments commandés et en partie par des éléments non commandés du circuit du convertisseur.

121.16 *Convertisseur à puissance réversible (voir aussi article 680)*

Convertisseur permettant le transfert de l'énergie du côté courant alternatif vers le côté courant continu ou inversement.

121.17 *Convertisseur simple (voir tableau II)*

Convertisseur fournissant un courant unidirectionnel à un circuit d'utilisation à courant continu.

Note. — Un convertisseur simple utilisé sans dispositif inverseur ne peut être employé en récupération de puissance que dans le cas de montages à thyristors à une voie ou de montages homogènes à thyristors à deux voies et quand le circuit de charge à courant continu peut fournir de l'énergie sans recourir à l'inversion du courant, par exemple dans le cas d'une charge fortement inductive.

Utilisé avec dispositif inverseur, un convertisseur simple peut être utilisé en récupération de puissance dans tous les cas de montages à une voie ou de montages homogènes à deux voies.

121.18 *Convertisseur double (voir tableau II)*

Montage combinant deux convertisseurs à un circuit d'utilisation de telle sorte que celui-ci puisse recevoir ou fournir de l'énergie à courant continu dans les deux directions.

Note. — Les deux convertisseurs peuvent être alimentés, soit par des enroulements côté différents d'un transformateur unique, soit par des enroulements côté c.c. communs, soit par des transformateurs différents.

Le montage du convertisseur peut être à une voie ou homogène à deux voies.

121.19 *Convertisseurs en série*

Deux ou plusieurs convertisseurs connectés d'une telle manière que leurs tensions côté courant continu s'ajoutent.

121.12 *Convertor connection*

A combination of circuits formed by rectifying paths to a specified diagram characterized by defined pulse number and commutating number.

121.13 *Rectifier connection*

A particular kind of convertor connection for conversion of a.c. to d.c.

121.14 *Single-way connection* (for examples, see Table II)

A connection forming a single convertor in which the current in the a.c. connections of the assembly is flowing in only one direction.

121.15 *Double-way connection* (for examples, see Table II)

A connection forming a single convertor in which the a.c. connections of the assembly carry current in both directions.

121.15.1 *Uniform double-way connection*

A connection with all arms identical.

121.15.2 *Non-uniform double-way connection*

A connection with partly controlled and partly uncontrolled convertor circuit elements.

121.16 *Reversible power convertor* (see also Clause 680)

A convertor in which the transfer of energy is possible both from the a.c. side to the d.c. side and vice versa.

121.17 *Single-convertor* (see Table II)

A convertor connected to a d.c. circuit such that the direct current of the convertor is flowing in only one direction.

Note. – When used without a reversing switch, a single convertor can be used in a reversible power sense only in these cases where single-way thyristor connections or uniform double-way thyristor connections are used and where the d.c. circuit can change from accepting energy to giving up energy without the need for current reversal, e.g. a heavily inductive load.

When used with a reversing switch, a single convertor can be used in a reversible power sense in all cases where single-way thyristor connections or uniform double-way thyristor connections are used.

121.18 *Double-convertor* (see Table II)

Two convertors connected to a common d.c. circuit such that this circuit can accept or give up energy with direct current in both directions.

Note. – The convertors may be supplied from separate cell windings on a common transformer, from common cell windings or from separate transformers.

The convertor connections may be single-way or uniform double-way.

121.19 *Series convertor*

Two or more simple convertors connected in such a way that their voltages on the d.c. side are additive.

121.20 *Convertisseurs en cascade*

Un cas particulier de convertisseurs en série où les commutations des convertisseurs ne sont pas simultanées.

121.21 *Convertisseur à commande séquentielle*

Convertisseur en cascade dans lequel les convertisseurs unitaires sont commandés indépendamment les uns des autres.

121.22 *Convertisseur commuté par machine (ou réseau)*

Convertisseur dans lequel la tension de commutation est essentiellement fournie par une ou plusieurs machines synchrones ou par des machines asynchrones excitées par condensateurs et reliées au réseau à courant alternatif.

121.23 *Commutation*

Transfert du courant entre deux bras consécutifs d'un montage convertisseur.

121.24 *Indice de pulsation p*

Caractéristique d'un montage convertisseur exprimé par le nombre de commutations non simultanées qui se produisent au cours d'une période de la tension alternative.

121.25 *Indice de commutation q*

Nombre de commutations qui se produisent au cours d'une période de la tension alternative dans chaque groupe commutant.

121.26 *Groupe commutant*

Groupe d'éléments de circuit de convertisseur caractérisé par une commutation cyclique et indépendante des autres éléments du circuit du convertisseur (c'est-à-dire que les circuits sont indépendants ou que les commutations ne sont pas simultanées, ou les deux à la fois).

121.27 *Tensions de commutation (f.e.m. de commutation)*

Tension entre deux phases successives d'un groupe commutant qui provoque la commutation.

121.28 *Marge de commutation γ (angle de marge)*

Temps exprimé en angle électrique s'écoulant depuis la fin de la commutation en fonctionnement onduleur jusqu'au point d'intersection suivant des deux demi-ondes négatives correspondant aux deux tensions des phases qui viennent de commuter (voir figure 1).

Note. — A ce point d'intersection, l'élément de circuit de convertisseur qui vient de conduire passe de l'état bloqué dans le sens inverse à l'état bloqué.

121.29 *Empiètement (angle) u*

Durée en mesure angulaire pendant laquelle deux éléments de circuit sont traversés simultanément par le courant (voir figure 1).

121.20 *Cascade convertor*

A special case of series convertor in which the commutations of the convertors are not simultaneous.

121.21 *Convertor with sequence control*

A cascade convertor in which the convertor units are controlled independent of each other.

121.22 *Line or machine-commutated convertor*

A convertor in which the commutating voltage is supplied essentially by one or more synchronous machines or capacitor-excited asynchronous machines connected to the a.c. line.

121.23 *Commutation*

The transfer of current between two consecutive arms in a convertor connection.

121.24 *Pulse number p*

A characteristic of a convertor connection expressed as the number of non-simultaneous commutations occurring during one cycle of the alternating line voltage.

121.25 *Commutating number q*

The number of commutations occurring during one cycle of the alternating line voltage in each commutating group.

121.26 *Commutating group*

A group of convertor circuit elements which commute cyclically and independently of other convertor circuit elements (i.e. either the commutation circuits are independent or the commutations are not simultaneous, or both).

121.27 *Commutating voltages (commutating electromotive force)*

The voltage between two consecutive phases of a commutating group, which causes the commutation.

121.28 *Margin of commutation γ (margin angle)*

The time in electrical angular measure from the termination of commutation in inverter operation to the next following point of intersection between the two half-waves of the voltage phases which have just commutated (see Figure 1).

Note. – At this point of intersection, the convertor circuit element which has just terminated conduction changes from reverse blocking state to off-state.

121.29 *Overlap (angle) μ*

The time interval in angular measure during which two consecutive circuit elements carry current simultaneously (see Figure 1).

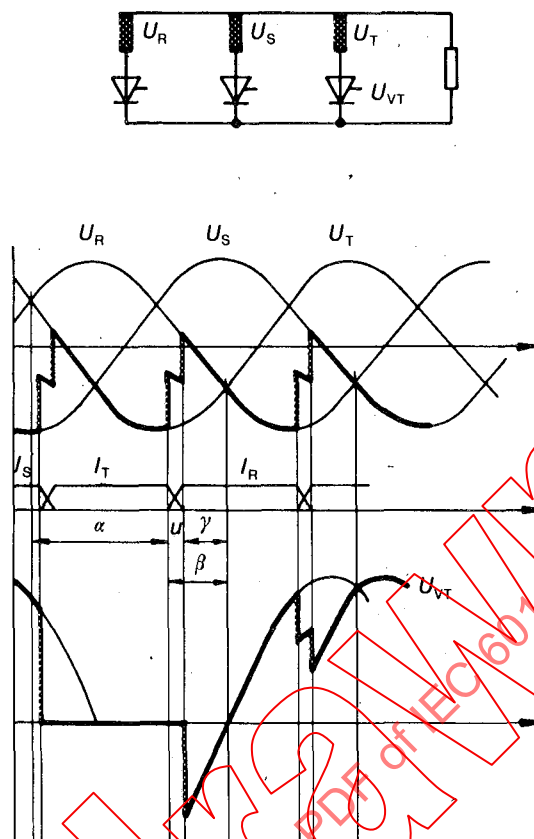


FIGURE 1

121.30 *Angle de retard α (figure 1)*

Temps exprimé en angle électrique, par lequel le commencement de la commutation est retardé par réglage de phase par rapport au fonctionnement comme redresseur sans réglage de phase, incluant l'angle de retard propre éventuel.

121.31 *Angle de retard propre α_p*

Angle de retard qui existe dans certains montages (par exemple les montages à 12 impulsions) dans certaines conditions de fonctionnement même en l'absence d'un contrôle de phase.

121.32 *Tension de crête fictive à vide U_{i0m}*

Tension de crête à vide qui apparaît entre les points extrêmes d'un bras, en négligeant les surtensions internes et externes, et les chutes de tension dans les diodes ou thyristors.

Note. — Dans le cas des montages avec bobines d'absorption, celles-ci sont supposées non magnétisées.

121.33 *Tension de crête fictive U_{im}*

Tension de crête qui apparaît entre les points extrêmes d'un bras, en négligeant les surtensions internes et externes, et les chutes de tension dans les diodes ou thyristors, et pour un courant continu légèrement supérieur au courant de transition.

121.34 *Température d'équilibre*

Température d'équilibre atteinte par un composant de convertisseur dans des conditions spécifiées de charge et de refroidissement.

Note. — Les températures d'équilibre sont en général différentes pour des composants différents. Les temps nécessaires pour atteindre l'état d'équilibre sont aussi différents, et proportionnels aux constantes de temps thermiques.

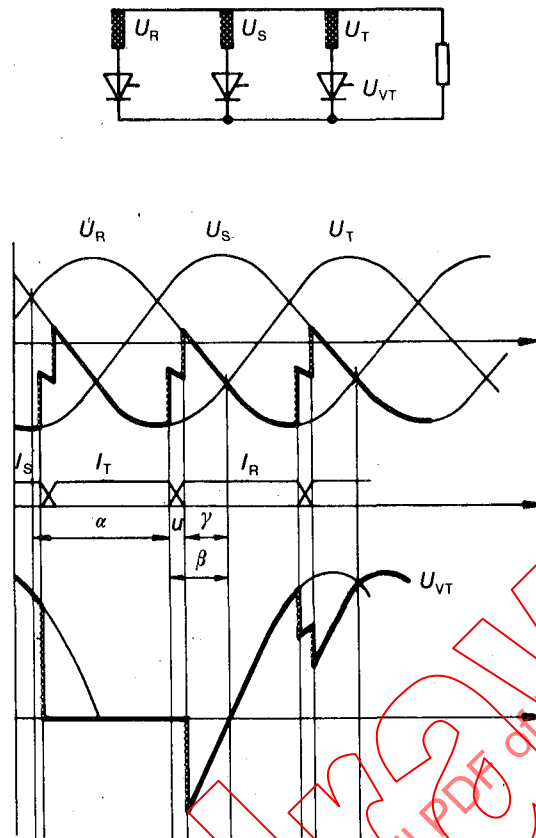


FIGURE 1

121.30 *Delay angle α* (Figure 1)

The time in electrical angular measure, by which the starting point of commutation is delayed by phase control in relation to rectifier operation without phase control including possible inherent delay angle.

121.31 *Inherent delay angle α_p*

The delay angle which occurs in some connections (e.g. 12-pulse connections) in certain operating conditions even where no phase control is applied.

121.32 *Ideal crest no-load voltage U_{i0m}*

The crest no-load voltage appearing between the ends of an arm neglecting both internal and external voltage surges and voltage drops in diodes or thyristors.

Note. — In the case of connections with interphase transformers, these are assumed to be not magnetized.

121.33 *Ideal crest voltage U_{im}*

The crest voltage appearing between the ends of an arm neglecting both internal and external voltage surges and voltage drops in diodes or thyristors and for a direct current slightly above the transition current.

121.34 *Equilibrium temperature*

The steady state temperature reached by a component of a convertor under specified conditions of load and cooling.

Note. — The steady state temperatures are in general different for different components. The times necessary to establish steady state are also different and proportional to the thermal time constants.

121.35 Désignation des enroulements de transformateur

121.35.1 Enroulements côté réseau

Enroulements qui sont directement reliés au réseau à courant alternatif.

121.35.2 Enroulements côté cellules

Enroulements qui sont reliés aux blocs de diodes ou blocs de thyristors.

122. Définitions des valeurs nominales

122.1 Valeurs nominales

Valeur ou valeurs de grandeurs électriques, thermiques, mécaniques et ambiantes assignées par le constructeur à un thyristor, à une diode de redressement, un élément thyristor, ou un élément redresseur, à un bloc d'éléments ou à un convertisseur pour définir les conditions de fonctionnement pour lesquelles on peut attendre de celui-ci un service satisfaisant.

Notes 1. — Contrairement à beaucoup d'autres constituants électriques, les composants semiconducteurs peuvent être irrémédiablement endommagés par un fonctionnement même pendant un temps très court au-dessus de leurs valeurs nominales maximales.

2. — Lorsque des variations des grandeurs nominales ne sont pas envisagées de manière générale et peuvent être importantes, les limites de ces variations doivent être précisées. Certaines des valeurs assignées sont des valeurs limites. Ces valeurs limites peuvent être des valeurs maximales ou des valeurs minimales.

122.2 Définitions des valeurs nominales des transformateurs de convertisseurs

122.2.1 Fréquence nominale f_N

Fréquence spécifiée du côté réseau du transformateur.

122.2.2 Tension nominale du côté réseau U_{LN}

Valeur efficace spécifiée de la tension entre phases du côté réseau du transformateur. 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 (nominale).

122.2.3 Tension nominale côté cellules U_{V0}

Valeur efficace de la tension à vide entre bornes de phases à commutation consécutive (vectorielle) des enroulements côté cellules d'un groupe de commutation, l'enroulement côté réseau étant sous la tension nominale.

122.2.4 Courant nominal côté réseau I_{LN}

Valeur efficace du courant aux bornes de ligne côté réseau du transformateur. Pour les équipements polyphasés, ce courant est calculé à partir du courant continu nominal en admettant que les courants dans les éléments de circuit du convertisseur sont de forme rectangulaire. Pour les équipements monophasés, la base du calcul doit être spécifiée.

Le courant nominal de ligne doit inclure le courant absorbé par les appareils auxiliaires et tenir compte du courant continu de circulation, s'il y a lieu.

122.2.5 Courant nominal côté cellules I_{VN}

Valeur efficace du courant dans chacune des bornes côté cellules du transformateur. S'il y a lieu, tenir compte des courant de circulation. Pour les équipements polyphasés, ce courant est calculé à partir du courant continu nominal en admettant que les courants dans les éléments de circuit du convertisseur sont de forme rectangulaire. Pour les équipements monophasés, la base du calcul doit être spécifiée.

121.35 Designation of transformer windings

121.35.1 Line windings

The windings which are directly connected to the a.c. line.

121.35.2 Cell windings

The windings which are connected to the diode or thyristor assembly.

122. Definitions of rated values

122.1 Rated value

A specified value for the electrical, thermal, mechanical and environmental quantities assigned by the manufacturer to define the operating conditions under which a thyristor, a rectifier diode, thyristor or diode stack, assembly or convertor is expected to give satisfactory service.

Notes 1. – Unlike many other electrical components, semi-conductor devices may be irreparably damaged even within a very short time of operation in excess of maximum rated values.

2. – Where variations to a rated value are not generally understood and may be significant, they should be specified.

Certain of the values assigned are limiting values. These limiting values may be either maximum or minimum values.

122.2 Definitions of rated values for convertor transformers

122.2.1 Rated frequency f_N

The specified frequency on the line side of the transformer.

122.2.2 Rated voltage on line side U_{LN}

The specified r.m.s. voltage between conductors on the line side of the transformer. 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.

122.2.3 Rated voltage on cell side U_{v0}

The r.m.s. no-load voltage between vectorially consecutive commutating phase terminals of the cell windings of a commutating group at rated voltage on the line side.

122.2.4 Rated current on line side I_{LN}

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 convertor circuit element currents. For single phase equipment, the basis of calculation shall be specified.

The rated line current should include the current taken by the auxiliary power loads and that due to circulating current if any.

122.2.5 Rated current on cell side I_{vN}

The r.m.s. current in each terminal of the transformer on the cell side. If they exist, circulating currents should be taken into account. For polyphase equipment, this is calculated from the rated direct current on the basis of rectangular shaped convertor circuit element currents. For single phase equipment, the basis of calculation shall be specified.

122.2.6 Puissance apparente nominale côté réseau S_{LN}

Puissance apparente totale, exprimée en kVA, aux bornes côté réseau, à la fréquence nominale, à la tension nominale côté réseau et au courant nominal côté réseau.

122.3 Définitions des valeurs nominales des blocs et des groupes convertisseurs

122.3.1 Tension continue nominale U_{dN}

Tension continue indiquée dans les spécifications. C'est la valeur moyenne arithmétique de la tension entre les bornes à courant continu de l'assemblage ou du groupe convertisseur pour le courant continu nominal (paragraphe 122.3.2).

122.3.2 Courant continu nominal I_{dN}

Valeur moyenne arithmétique du courant continu spécifiée par le fournisseur dans les conditions spécifiées de charge et de service.

La valeur du courant continu nominal doit être considéré comme la valeur 100 % du courant.

122.3.3 Courant continu permanent nominal I_{dmN}

Valeur moyenne arithmétique du courant continu qu'un bloc ou un convertisseur peut fournir continuellement sans surcharges dans des conditions de service spécifiées.

Notes 1. — Le courant continu permanent nominal d'un bloc est très souvent considérablement plus grand que le courant continu nominal de l'équipement correspondant complet.

2. — Le courant continu permanent d'un bloc peut être limité par d'autres éléments que les dispositifs semi-conducteurs, par exemple le système de refroidissement.

122.3.4 Puissance nominale absorbée ou fournie

Produit de la tension continue nominale par le courant continu nominal pour le cycle de charge spécifié, dans les conditions prescrites dans la présente recommandation, et dans les limites d'emploi fixées par le fournisseur.

123. Définitions relatives au rendement

123.1 Facteur de conversion

Rapport entre le produit des valeurs moyennes arithmétiques de la tension et du courant continu et la puissance fondamentale du côté réseau alternatif ou inversement.

123.2 Rendement en puissance

Rapport entre la puissance totale du côté continu (mesurée au wattmètre) et la puissance du côté alternatif ou inversement.

Notes 1. — Dans le facteur de conversion on ne tient pas compte de la puissance des composantes alternatives du côté continu. Dans le rendement en puissance, elle est incluse dans la puissance continue. C'est pourquoi, pour la conversion d'alternatif en continu, le facteur de conversion a une valeur plus faible. Pour un redresseur monophasé, deux alternances (pleine onde), le facteur de conversion maximal théorique est de 81 % en admettant que la charge est purement résistive, alors que le rendement en puissance maximal théorique est de 100 %.

2. — Le facteur de conversion peut être obtenu correctement seulement par une mesure de la puissance alternative fondamentale et de la puissance nominale absorbée ou fournie.

Le rendement en puissance peut être obtenu correctement par une mesure de la puissance alternative et de la puissance continue, ou par calcul des pertes internes, ou encore par la mesure des pertes internes.

122.2.6 *Rated apparent power on line side S_{LN}*

The total apparent power expressed in kVA, at the line side terminals, at rated frequency, rated line side voltage and at rated current on the line side.

122.3 *Definitions of rated values for assemblies and equipments*

122.3.1 *Rated direct voltage U_{dN}*

The direct voltage given in the specification. It is the mean value of the direct voltage between d.c. terminals of the assembly or equipment at rated direct current (Sub-clause 122.3.2).

122.3.2 *Rated direct current I_{dN}*

The mean direct current specified by the supplier for specified load and service conditions.

The rated direct current value is to be referred to as the 100% value.

122.3.3 *Rated continuous direct current I_{dmN}*

The mean direct current which an assembly or converter is capable of carrying continuously without overloads and for specified service conditions.

Notes 1. — The rated continuous direct current of an assembly is very often essentially higher than the rated direct current of the corresponding complete equipment.

2. — The continuous direct current of an assembly may be limited by other parts than the semi-conductor devices, e.g. cooling system.

122.3.4 *Rated d.c. input or output*

The product of the rated direct voltage and the rated direct current under the conditions stated in this recommendation, and within the operating limitations assigned to it by the supplier.

123. **Efficiency definitions**

123.1 *Conversion factor*

The ratio between the product of the mean values of direct voltage and direct current and the fundamental power on the a.c. side or vice versa.

123.2 *Power efficiency*

The ratio between the total power on the d.c. side (as measured by a watt-meter) and the power on the a.c. side or vice versa.

Notes 1. — In the conversion factor, the power of the a.c. components of the voltage and current waves in the d.c. circuit is disregarded. In the power efficiency, it is included in the d.c. power. Therefore, for a.c. to d.c. conversion, the conversion factor has a lower value. For a single-phase, two pulse (full wave) convertor with resistive load, the theoretical maximum conversion factor is 81%, where the theoretical maximum power efficiency is 100%.

2. — The conversion factor may be correctly obtained only by a measurement of fundamental a.c. power and d.c. input or output.

The power efficiency may be correctly obtained either by measurement of a.c. power and d.c. power or by calculation of internal losses or by measurement of internal losses.

124. Termes se rapportant aux défauts du convertisseur

124.1 Raté de commutation

Défaut dans lequel le courant continu n'est pas transféré du bras en conduction au bras suivant.

Note. — Un raté de commutation peut être la conséquence d'une impulsion de gâchette incorrecte, d'un raté d'amorçage ou d'un raté de blocage et peut survenir en fonctionnement en redresseur aussi bien qu'en inverseur.

124.2 Décrochage

Dans le fonctionnement en onduleur, défaut dans lequel le blocage en état direct d'un thyristor ne se produit pas à la fin du temps de conduction normal, ce qui permet au courant continu de passer pendant le temps où le thyristor devrait être normalement bloqué (voir figure 2a).

Note. — Un décrochage est dû à un raté de commutation et se produit, par exemple lorsque l'angle de marge de commutation (paragraphe 121.28) est trop faible ou en cas de raté d'amorçage dans la branche suivante.

124.3 Raté d'amorçage

Défaut dans lequel la conduction ne s'établit pas dans un thyristor à l'instant correct (voir figure 2c).

Note. — On doit s'attendre à de petites variations de la commutation du convertisseur résultant d'une légère asymétrie dans les angles de retard.

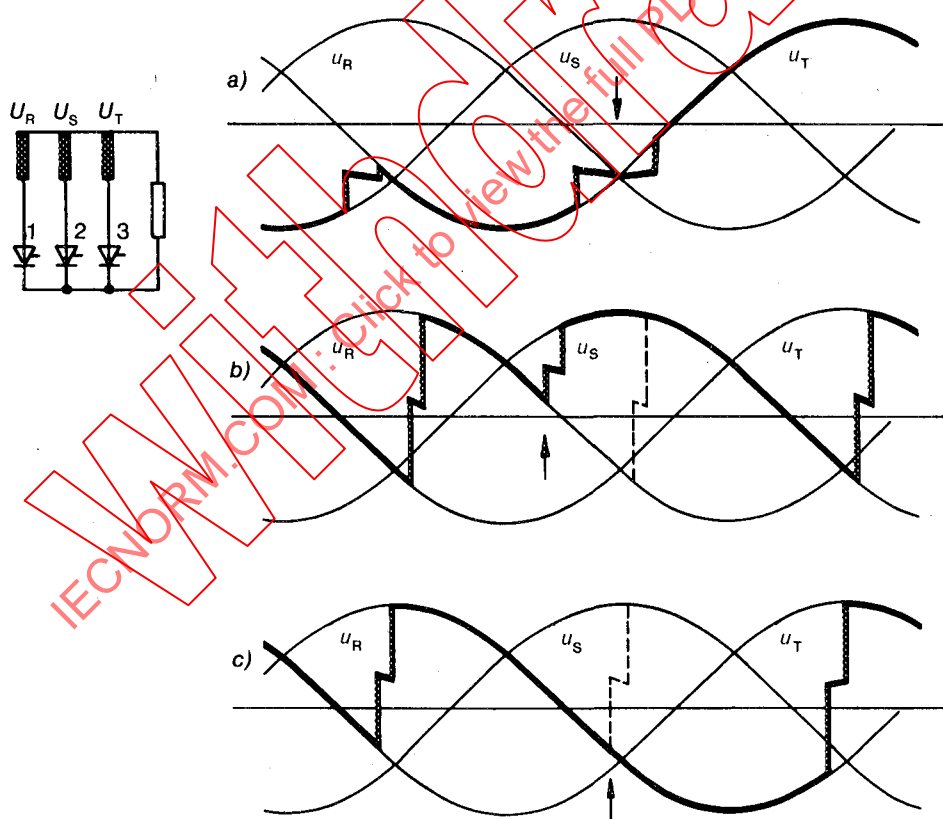


FIGURE 2

- a) Décrochage du bras 3.
- b) Raté de blocage du bras 2.
- c) Raté d'amorçage du bras 2.

124. Terms used in connection with convertor faults

124.1 Commutation failure

A failure to commutate the direct current from the conducting arm to the succeeding arm of a thyristor connection.

Note.—A commutation failure may be a consequence of a non-appropriate gate pulse, of a missing or of a break-through and can occur in rectifier operation as well as inverter operation.

124.2 Conduction-through (shoot-through)

The failure to achieve forward blocking, during inverter operation, of an arm of a thyristor connection at the end of the normally-conducting period, thus enabling the direct current to continue to pass during the period when the thyristor is normally in the off-state (see Figure 2a).

Note.—A conduction-through is a consequence of a commutation failure and occurs e.g. when the margin angle (Sub-clause 121.28) is too small because of a missing in the succeeding arm.

124.3 Missing

The failure to achieve conduction through an arm of a thyristor connection commencing at the correct instant of time (see Figure 2c).

Note.—Minor variations arising from slight asymmetry in the convertor commutation delay angles are expected.

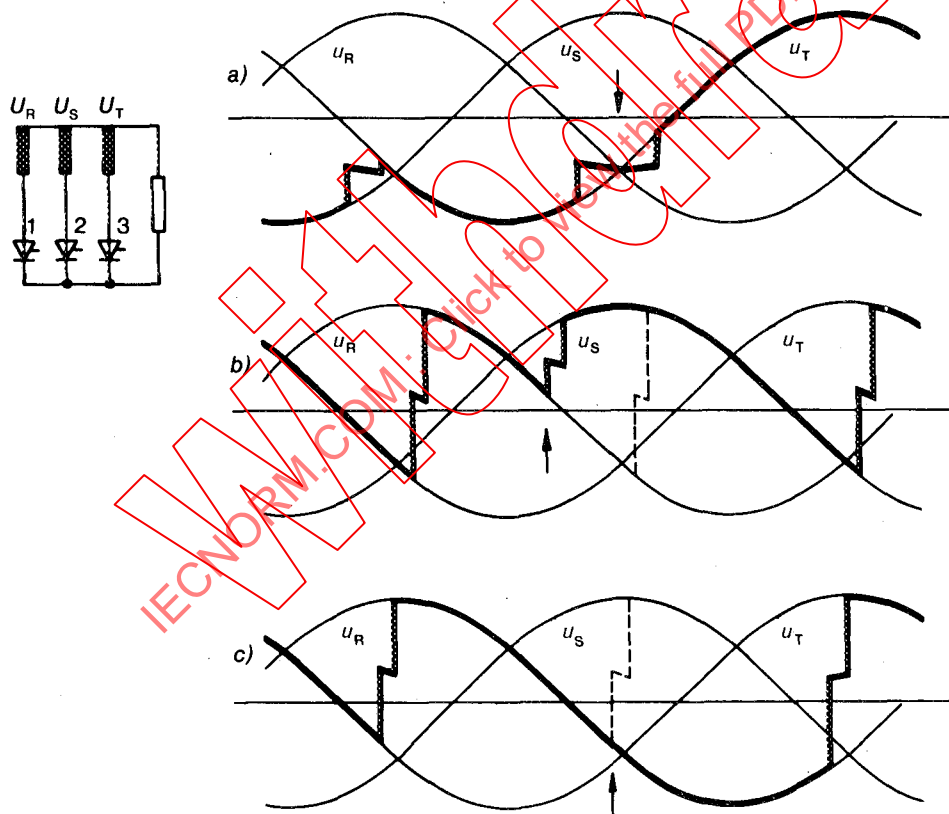


FIGURE 2

- a) Conduction-through related to arm 3.
- b) Break-through in arm 2.
- c) Missing in arm 2.

124.4 Raté de blocage

Défaut d'action de blocage dans le sens direct d'un bras de montage à thyristors, pendant un temps normal de blocage, ayant pour effet de permettre le passage du courant continu pendant une partie de ce temps (voir figure 2b).

Note. — Un raté de blocage peut se produire aussi bien en fonctionnement redresseur qu'en fonctionnement onduleur pour diverses raisons, par exemple une température excessive de la jonction, des surtensions supérieures à la tension de crête nominale, un taux d'accroissement excessif de la tension à l'état bloqué, ou des impulsions irrégulières de courant de gâchette.

124.5 Perforation

Défaut qui détruit en permanence la propriété de blocage en tension d'une diode ou d'un thyristor, en inverse (amorçage inverse) ou d'un thyristor en direct (amorçage direct).

125. Facteurs du côté alternatif

125.1 Facteur de puissance global λ

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

125.2 Facteur de puissance de l'onde fondamentale ou facteur de déphasage $\cos \varphi$

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

125.3 Facteur de déformation v

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

126. Termes relatifs à la variation de tension (voir aussi article 670)

126.1 Tension continue conventionnelle à vide U_{d0}

Valeur moyenne arithmétique de la tension continue que l'on obtiendrait en prolongeant la courbe caractéristique courant-tension jusqu'à sa rencontre avec l'axe des ordonnées.

126.2 Tension continue fictive à vide U_{di0}

Valeur moyenne arithmétique de la tension continue théorique d'un convertisseur en supposant qu'il n'y a ni réduction de tension par réglage de phase, ni chute de tension dans les blocs, ni remontée de tension aux faibles charges. Elle se déduit de la tension entre deux phases commutantes U_{v0} , de l'indice de commutation q et du nombre de groupes commutants, s , montés en série entre les bornes côté continu au moyen de la formule:

$$U_{di0} = U_{v0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{q \cdot s}{\pi}$$

Cette formule n'est pas valable pour les circuits multiplicateurs de tension.

U_{di0} est égale à la somme de U_{d0} et de la chute de tension à vide dans le bloc.

124.4 Breakthrough

The failure of the forward-blocking action of an arm of a thyristor connection during a normal off-state period with the result that it allows on-state current to pass during a part of this period (see Figure 2b).

Note.—Breakthrough can occur in rectifier operation as well as inverter operation and for various reasons, e.g. excessive virtual junction temperature, voltage surges in excess of rated peak off-state voltage and excessive rate of rise of off-state voltage or spurious gate current pulses.

124.5 Breakdown

A failure that permanently deprives a rectifier diode or a thyristor of its property to block voltage in the reverse direction (reverse breakdown) or a thyristor in the forward direction (forward breakdown).

125. Factors on a.c. side

125.1 Total power factor λ

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

125.2 Power factor of the fundamental wave or displacement factor, $\cos \varphi$

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

125.3 Deformation factor v

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

126. Terms used in connection with voltage regulation (see also Clause 670)

126.1 Conventional no-load direct voltage U_{d0}

The mean value of the direct voltage which would be obtained by extrapolating the direct voltage/current characteristic for continuous direct current back to zero current.

126.2 Ideal no-load direct voltage U_{di0}

The ideal no-load mean direct voltage of a convertor, which assumes no reduction by phase control, no voltage drop in the assemblies and no voltage rise at small loads, is obtained from the voltage between two commutating phases U_{v0} , the commutating number q , and the number of series-connected commutating groups s , between terminals on d.c. side, by the formula:

$$U_{di0} = U_{v0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{q \cdot s}{\pi}$$

This formula is not valid for voltage multiplying circuits.

U_{di0} is equal to the sum of U_{d0} and the no-load voltage drop in the assembly.

126.3 Tension continue fictive à vide avec réglage $U_{di0\alpha}$

Valeur moyenne arithmétique de la tension continue théorique d'un convertisseur en supposant qu'il y a diminution de la tension par réglage de phase, mais qu'il n'y a ni chute de tension dans les thyristors, ni remontée de tension aux faibles charges, donnée par les formules suivantes:

126.3.1 Montages homogènes du convertisseur

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

si le courant continu est permanent dans toute la gamme du réglage.

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha \quad \text{pour } 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$$

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{1 - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{p}\right)}{2 \sin \frac{\pi}{p}} \quad \text{pour } \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$$

si la charge du convertisseur est purement résistive.

126.3.2 Montages hétérogènes du convertisseur

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$$

126.4 Tension continue conventionnelle à vide avec réglage $U_{d0\alpha}$

Valeur moyenne arithmétique de la tension continue conventionnelle à vide obtenue en prolongeant la courbe caractéristique courant-tension correspondant à un angle de retard α jusqu'à sa rencontre avec l'axe des ordonnées.

126.5 Tension continue réelle à vide U_{d00}

Valeur moyenne arithmétique de la tension continue effective pour un courant continu nul.

126.6 Courant critique

Valeur moyenne arithmétique, du courant continu d'un montage de convertisseur, au-dessous de laquelle le courant continu des groupes commutants devient intermittent.

Note. — En descendant à la valeur du courant critique, la caractéristique de tension/courant s'incline vers le haut. On obtient un courant critique, par exemple dans le cas d'une charge f.c.é.m., parce que l'inductance du circuit courant continu n'est pas capable de maintenir le courant continu pendant toute la période (article 673) ou, dans le cas de bobine d'absorption, parce que le courant continu diminue au-dessous de la valeur critique et que la bobine d'absorption devient inefficace.

126.3 *Controlled ideal no-load direct voltage* $U_{di0\alpha}$

The ideal no-load mean direct voltage of a convertor when the direct voltage is reduced by phase control assuming no voltage drop in the assemblies and no voltage rise at small loads as obtained by the following formulae:

126.3.1 *Uniform convertor connections*

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

if the direct current is continuous over the entire control range.

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha \quad \text{for } 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$$

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{1 - \sin \left(\alpha - \frac{\pi}{p} \right)}{2 \sin \frac{\pi}{p}} \quad \text{for } \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$$

if the convertor load is purely resistive.

126.3.2 *Non-uniform connections*

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$$

126.4 *Controlled conventional no-load direct voltage* $U_{d0\alpha}$

The conventional no-load mean direct voltage obtained when extrapolating the direct voltage/current characteristic, corresponding to a delay angle α , back to zero current.

126.5 *Real no-load direct voltage* U_{d00}

The actual mean direct voltage at zero direct current.

126.6 *Transition current*

The mean direct current of a convertor connection at which the direct current of the commutating groups becomes intermittent, when decreasing the current.

Note. — At the transition current value, the voltage/current characteristic bends upwards.

Transition current can be obtained, e.g. in the case of back-e.m.f. load, because the inductance of the d.c. circuit cannot maintain direct current over the entire period (Clause 673) or, in the case of interphase transformer connection, because the direct current decreases below the critical value where the interphase transformer becomes ineffective.

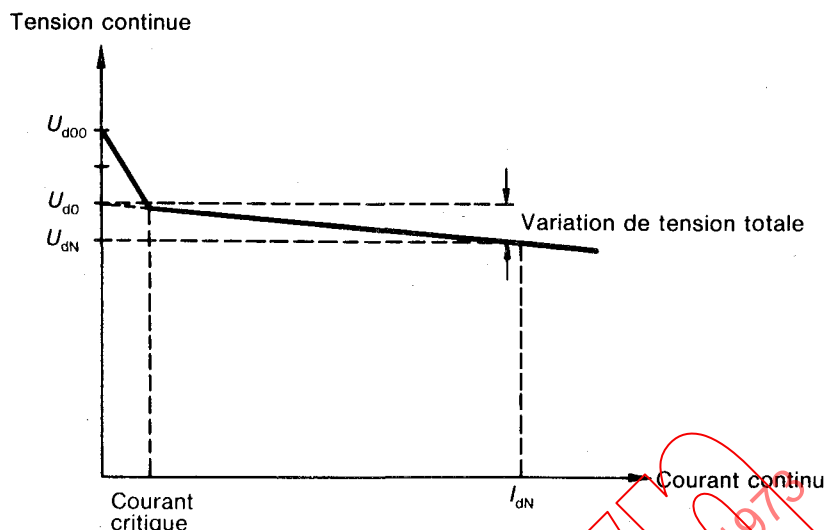


FIGURE 3

126.7 Variation de tension

Différence entre la tension continue pour le courant nominal et la tension conventionnelle à vide exprimée en volts, lorsque l'angle de retard et la tension aux bornes côté réseau du groupe redresseur restent constants. Si on utilise un régulateur automatique de tension ou d'autres dispositifs de stabilisation de tension, on applique le paragraphe 126.8.

Note. — La nature du circuit d'utilisation à courant continu (par exemple condensateurs, f.c.e.m.) peut influencer notablement la variation de tension, ce qui peut demander une attention particulière.

126.7.1 Variation de tension propre

Variation de tension sans tenir compte des effets de l'impédance du réseau à courant alternatif ni des effets correctifs d'une stabilisation de tension, s'il en existe.

126.7.2 Variation de tension totale

Variation de tension tenant compte des effets de l'impédance du réseau à courant alternatif, lorsqu'elle est spécifiée, mais sans tenir compte des effets correctifs d'une stabilisation de tension, si on en utilise une.

126.8 Variation de tension corrigée (stabilisation)

Variation de tension (voir paragraphe 126.7), dans le cas où un équipement de stabilisation est inclus dans le convertisseur. On ne tient pas compte des effets produits sur la tension continue par des facteurs autres que les variations de charge. Cette définition ne tient compte que des propriétés statiques du groupe convertisseur.

126.9 Ecart de sortie

Changement de la valeur fixée pour une grandeur de sortie stabilisée (tension, courant ou puissance) dû à un changement spécifié de la valeur fixée d'une ou plusieurs grandeurs d'influence, toutes les autres grandeurs d'influence restant constantes.

Note. — Les écarts peuvent être exprimés comme des valeurs absolues, relatives, ou une combinaison des deux. Des valeurs données en pourcentage seront un pourcentage de la valeur centrale.

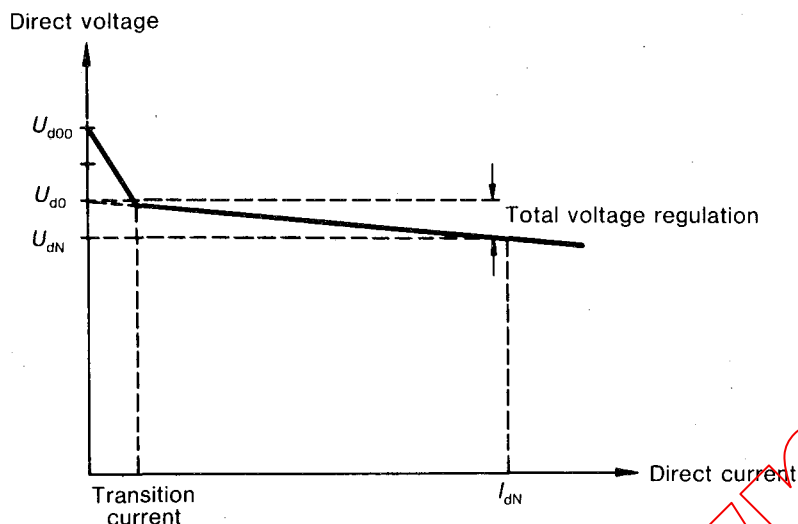


FIGURE 3

126.7 Voltage regulation

The difference between the direct voltage at rated direct current and the conventional no-load direct voltage expressed in volts, when the delay angle is kept constant and the voltage remains constant at the a.c. line side terminals of the convertor equipment. If voltage stabilizing means are used, then Sub-clause 126.8 is valid.

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

126.7.1 Inherent voltage regulation

The voltage regulation excluding the effect of a.c. system impedance and the correcting effect of voltage stabilizing means, if any.

126.7.2 Total voltage regulation

The voltage regulation including the effect of the a.c. system impedance where specified, but excluding the correcting effect of stabilizing means, if any.

126.8 Corrected voltage regulation (stabilization)

The voltage regulation (see Sub-clause 126.7) when equipment for stabilization is included in a convertor. The influence on direct voltage of factors other than load change is to be excluded. This definition includes only the static properties of the equipment.

126.9 Output effect

The change in the steady-state value of a stabilized output quantity (voltage, current or power) due to a specified change in the steady-state value of one or more influence quantities, with all other influence quantities maintained constant.

Note – Output effects may be expressed as absolute values or relative values or a combination of both. Values given in per cent will be per cent of the centre value.

127. **Termes se rapportant au refroidissement**

127.1 *Termes relatifs au refroidissement*

127.1.1 *Refroidissement naturel à air*

Refroidissement par convection naturelle de l'air ambiant.

127.1.2 *Refroidissement par ventilation forcée*

Refroidissement au moyen d'un dispositif de ventilation forcée, un 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.

127.1.3 *Refroidissement à eau perdue*

Refroidissement par de l'eau constamment renouvelée.

127.1.4 *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 respectivement naturels ou forcés.

127.1.5 *Refroidissement par fluide refroidi par l'eau*

Refroidissement par circulation d'un agent de transfert de la chaleur (gaz ou liquide) refroidi par l'eau fournie par une alimentation 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.

127.1.6 *Refroidissement naturel par immersion dans un liquide*

Refroidissement par circulation du type thermo-siphon d'un liquide de transfert de la chaleur, refroidi par une circulation naturelle d'air à l'extérieur de l'enveloppe.

127.1.7 *Refroidissement forcé par immersion dans un liquide*

Refroidissement par circulation du type thermo-siphon d'un liquide refroidi par ventilation forcée à l'extérieur de l'enveloppe.

127.2 *Définitions relatives à la température*

127.2.1 *Température de l'air de refroidissement pour les éléments diodes ou thyristors prévus pour refroidissement naturel*

Température de l'air au-dessous de l'élément fonctionnant à son régime nominal, à une distance voisine de 50 mm des organes de refroidissement de l'élément et à un emplacement protégé de toute radiation calorifique.

A l'endroit de la mesure de température, la distance à la paroi éventuelle de l'élément doit être grande par rapport à 50 mm.

127.2.2 *Température de l'air de refroidissement pour les éléments diodes ou thyristors prévus pour la ventilation forcée*

Température de l'air de refroidissement à une distance voisine de 50 mm des organes de refroidissement côté entrée d'air dans le sens inverse de celui du flux.

127. Terms used in connection with cooling

127.1 Cooling terms

127.1.1 Natural air cooling

Cooling by the natural convection of the ambient air.

127.1.2 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 temperature different from that of the ambient air.

127.1.3 Tap water cooling

Cooling by water from an external supply.

127.1.4 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.

127.1.5 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.

127.1.6 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.

127.1.7 Liquid immersed forced cooling

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

127.2 Temperature definitions

127.2.1 Cooling air temperature for diode stacks and thyristor stacks rated for natural air cooling

The temperature of the air below the stack when it is operating under rated service conditions about 50 mm distance from the cooling attachments of the stack at a place protected from heat radiation.

At the place of temperature measurement, the distance to the wall of the enclosure of the stack, if any, should be large compared with 50 mm.

127.2.2 Cooling air temperature for diode stacks or thyristor stacks rated for cooling by forced ventilation

The temperature of the cooling air at a distance of about 50 mm from the cooling attachments of the stack in the direction opposite to the direction of the flow of the incoming air.

127.2.3 Température ambiante d'un bloc de diodes ou de thyristors

Température de l'air ambiant à une distance du bloc voisine de 300 mm, à mi-hauteur de celui-ci et à un emplacement protégé à la fois des radiations calorifiques et des effets de la ventilation forcée.

127.2.4 Température du fluide de refroidissement

Température du fluide de refroidissement à l'entrée de l'échantillon d'essai.

130. Conditions de service

Les conditions de service sont tous facteurs extérieurs (température ambiante, humidité de l'air, nature de la charge, etc.) pouvant exercer une influence sur le fonctionnement d'un élément d'un bloc ou d'un groupe.

131. Caractéristiques du réseau à courant alternatif

131.1 Forme d'onde de la tension alternative

Toutes les valeurs nominales et autres informations dans le domaine de la recommandation seront données sous les conditions suivantes:

- Une tension sinusoïdale du côté réseau alternatif, le redresseur ou convertisseur étant déconnecté.
- Une impédance interne limitée du réseau alternatif. En l'absence de spécifications générales, des valeurs limites doivent être déterminées entre le constructeur et l'utilisateur lors de l'établissement du contrat.

La forme d'onde d'une tension est considérée comme sinusoïdale dans les présentes recommandations si la valeur maximale de la différence ($a-b$), indiquée dans la figure 4, b étant la valeur instantanée 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 convertisseurs à 12 pulsations sans correction automatique de la dissymétrie, cette limite est réduite à 2,5%, c'est-à-dire:

$$|a-b| \leq 0,025 c$$

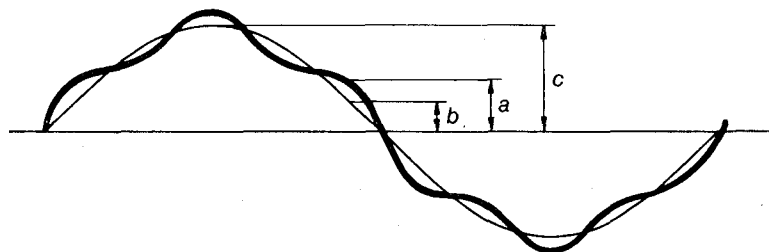


FIGURE 4

Note. — Si les tensions du réseau à courant alternatif ne sont pas rigoureusement sinusoïdales, même comprises dans les limites ci-dessus, la valeur mesurée de la tension continue peut être différente de la valeur calculée.

127.2.3 Ambient temperature for a diode or thyristor assembly

The temperature of the ambient air at a distance of about 300 mm from the assembly at half of the height of the assembly and at a place protected from heat radiation and forced ventilation.

127.2.4 Cooling fluid temperature

The temperature of the incoming cooling fluid at the entry of the test specimen.

130. Service conditions

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

131. A.C. system conditions

131.1 Waveform of alternating voltages

All rated values and other information within the scope of the recommendation will be given under the following conditions:

- Sinusoidal a.c. line voltage when the rectifier or convertor is switched out.
- Limited internal impedance of the a.c. line. In absence of general specifications, limiting values have to be considered between manufacturer and user when making the contract.

The waveform of a voltage is considered sinusoidal in this recommendation, if the largest deviation ($a-b$) in Figure 4 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-pulse convertors without automatic asymmetry correction, this limit is reduced to 2.5%. That is:

$$|a-b| \leq 0.025 c$$

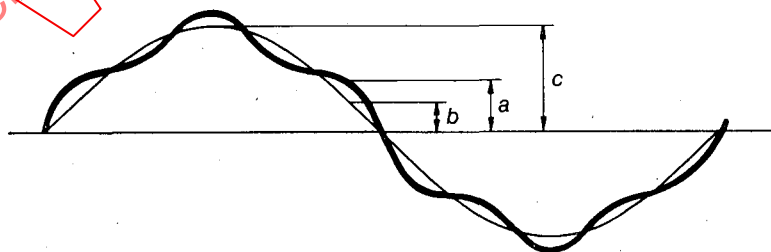


FIGURE 4

Note. – If the a.c. line voltages are not perfectly sinusoidal even though within the limits specified above, the measured value of the convertor direct voltage may deviate from the calculated value.

131.2 *Symétrie des systèmes polyphasés*

Sauf spécification contraire, toutes les grandeurs nominales et autres indications entrant dans le domaine des présentes recommandations s'appliquent, dans le cas d'une tension d'alimentation polyphasée, à un système de tensions symétriques.

Les tensions sont considérées comme symétriques si aucune des composantes inverses et homopolaires ne dépasse 5 % de la composante directe.

Si un système polyphasé n'est pas parfaitement symétrique tout en restant dans les limites ci-dessus, c'est la moyenne arithmétique de toutes les tensions entre phases que l'on doit considérer comme tension du réseau alternatif.

131.3 *Impédance du réseau à courant alternatif*

Lorsque les effets de l'impédance du réseau à courant alternatif peuvent être notables sur le convertisseur, on doit en tenir compte (voir les articles 432 et 444).

132. **Températures et conditions de refroidissement**

On peut spécifier des températures de fluides réfrigérants différentes pour les blocs et pour le transformateur du convertisseur. Les valeurs de températures de fluides réfrigérants applicables aux transformateurs sont données dans l'article 332, et celles relatives aux blocs dans les paragraphes 132.1 et 134.4.

132.1 *Limites de température des fluides de refroidissement pour les blocs*

Les températures ambiantes maximales et minimales ou celles du fluide de refroidissement peuvent être spécifiées par l'utilisateur ou par le fournisseur dans son offre (voir aussi les paragraphes 134.3 et 134.4).

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

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

min. -20 °C, -15 °C, -10 °C, -5 °C, 0 °C, +5 °C

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

Si l'air de refroidissement est le même que l'air ambiant, les mêmes limites s'appliquent aux deux.

132.1.2 *Pour les liquides:* max. 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, etc.

min. -10 °C, -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, etc.

133. **Nature de la charge**

Etant donné que la nature de la charge affecte les caractéristiques de fonctionnement d'un groupe convertisseur, on doit toujours spécifier la nature de la charge (par exemple: résistive, inductive, capacitive, récupération, force contre-électromotrice, etc.).

134. **Conditions normales de service**

Les blocs de diodes et de thyristors et les équipements doivent pouvoir fonctionner dans les conditions ci-après, sauf spécifications contraires.

131.2 *Symmetry of polyphase systems*

Where not otherwise specified, all rated values and other information given within the scope of this recommendation, in the case of a polyphase supply voltage, apply to a system with symmetrical voltages.

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

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

131.3 *A.C. system impedance*

Where the effect of a.c. system impedance may be significant for convertors, this shall be considered (see Clauses 432 and 444).

132. **Temperature and cooling conditions**

Different cooling medium temperatures may be specified for the assemblies and for the convertor transformer. The values of cooling medium temperatures relating to the transformers are given in Clause 322 and those relating to assemblies are given in Sub-clauses 132.1 and 134.4.

132.1 *Temperature limits of cooling media for assemblies*

The maximum and the minimum limits of the ambient temperature or cooling medium temperature may be specified by the user or by the supplier in his tender (see also Sub-clauses 134.3 and 134.4).

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

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

min. -20 °C, -15 °C, -10 °C, -5 °C, 0 °C, +5 °C

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.

132.1.2 *For liquid:* max. 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, etc.

min. -10 °C, -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, etc.

133. **Character of load**

Because the character of the load affects the performance characteristics of a convertor equipment, the character of load must always be specified (e.g. inductive, resistive, capacitive, regenerative, back-e.m.f., etc.).

134. **Usual service conditions**

Diode and thyristor assemblies and equipments shall be capable of operating under the following conditions if not otherwise specified.

134.1 *Variation de la tension alternative du réseau*

- a) permanente $\pm 5\%$;
- b) temporaire $\pm 10\%$ (moins de 1 s).

Quand la tension du réseau varie entre 100% et 105% de sa valeur nominale, aucune des valeurs nominales de courant ne peut être dépassée (article 463).

Note. – Des variations de la tension du réseau donneront des variations analogues en pour cent de la tension redressée, à moins que des mesures correctives ne soient prises.

134.2 *Variation de la fréquence du réseau de $\pm 2\%$*

Note. – On suppose qu'une diminution de la fréquence ne coïncide pas avec une augmentation de la tension de réseau, et inversement.

134.3 *Stockage jusqu'à -30°C (sans liquide de refroidissement)*

Note. – Dans le cas d'un stockage à basse température, des précautions doivent être prises pour éviter la condensation d'humidité dans l'appareil et prévenir le risque de dommages par le gel de cette humidité.

134.4 *Fonctionnement avec périodes d'interruption jusqu'à:*

- -10°C température ambiante pour refroidissement par air;
- -5°C température d'entrée de l'huile avec refroidissement à huile;
- $+5^{\circ}\text{C}$ température d'entrée de l'eau avec refroidissement par eau.

134.5 *Une température ambiante ou température de l'air de refroidissement n'excédant pas 40°C avec refroidissement par air*

134.6 *Une température d'entrée de liquide de refroidissement n'excédant pas 30°C avec refroidissement par liquide*

Note. – Les valeurs de température spécifiées dans les paragraphes 134.5 et 134.6 se réfèrent au fluide de refroidissement externe.

135. **Conditions anormales de service**

Les conditions suivantes doivent, si elles existent, avoir été signalées par l'utilisateur avant passation de la commande:

135.1 *Contraintes mécaniques anormales telles que chocs et vibrations.*

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

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

135.4 *Air salin (par exemple à proximité de la mer), humidité élevée, eau tombant goutte à goutte ou gaz corrosifs.*

135.5 *Exposition aux vapeurs d'eau ou d'huile.*

135.6 *Exposition à des mélanges explosifs de poussières ou gaz.*

135.7 *Exposition aux radiations radioactives.*

134.1 *A.C. line voltage variations*

- a) prolonged $\pm 5\%$;
- b) momentary $\pm 10\%$ (less than 1 second).

When voltages between 100% and 105% of rated a.c. line voltage are applied, none of the rated current values (Clause 463) may be exceeded.

Note. – Variations in the a.c. line voltage will give rise to similar percentage variations in direct voltage, unless compensating measures are taken.

134.2 *A.C. line frequency variations of $\pm 2\%$*

Note. – A decrease in frequency is assumed not to coincide with an increase in a.c. line voltage and vice versa.

134.3 *Storage down to -30°C (with cooling liquid removed)*

Note. – If storage at low temperature may occur, precautions should be taken to avoid condensation of the moisture in the apparatus to prevent the risk of damage by the freezing of this moisture.

134.4 *Operation including off-load periods down to:*

- 10°C ambient temperature for air cooling;
- 5°C incoming oil temperature for oil cooling;
- + 5°C incoming water temperature for water cooling.

134.5 *An ambient temperature or cooling air temperature which does not exceed 40°C in the case of air cooling*

134.6 *An incoming cooling liquid temperature which does not exceed 30°C in the case of liquid cooling*

Note. – The temperature values specified in Sub-clauses 134.5 and 134.6 are referring to the externally supplied cooling medium.

135. **Unusual service conditions**

The following conditions, if existing, should be specified by the user before order:

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

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

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

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

135.5 Exposure to steam or oil vapour.

135.6 Exposure to explosive mixtures of dust or gases.

135.7 Exposure to radioactive radiation.

- 135.8 Valeurs élevées de l'humidité relative et de la température du genre de celles que l'on rencontre dans les climats tropicaux ou subtropicaux.
- 135.9 Variations de température dépassant 5 deg C par heure et variations d'humidité dépassant 5% par heure.
- 135.10 Altitude supérieure à 1 000 m.
- 135.11 Superposition de tensions à haute fréquence d'amplitudes exceptionnelles.
- 135.12 Fonctionnement à des températures ambiantes au-dessous de + 5 °C avec refroidissement à eau.
- 135.13 Fonctionnement à des températures ambiantes au-dessous de - 5 °C avec refroidissement à huile.
- 135.14 Les autres conditions anormales de service non comprises dans cette énumération doivent faire l'objet d'un accord spécial entre l'utilisateur et le fournisseur avant passation de la commande. 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 dans les articles relatifs aux essais, s'il y a lieu.

140. Exécution des essais

- 140.1 Il est indiqué de limiter l'exécution des essais onéreux à ceux qui sont nécessaires. Cette recommandation est rédigée de telle sorte que les essais peuvent être normalement limités aux essais dans les ateliers du constructeur sur les éléments séparés, conformément aux articles 340, 470, 480 et 490.
D'autres essais, comme ceux effectués sur le groupe complètement assemblé, les essais d'échauffement des transformateurs et inductances ou les essais au lieu d'installation ne doivent être compris que s'ils sont spécifiés dans le contrat.
- 140.2 Si l'utilisateur ou son représentant désire assister aux essais en usine, il doit le spécifier dans la commande.
- 140.3 En cas d'accord avant la commande, le fournisseur doit fournir des certificats des essais de type ou individuels qui doivent indiquer les résultats obtenus.
- 140.4 Sous réserve de l'alinéa suivant, les éléments constituant d'un groupe de chaque catégorie doivent être soumis aux essais de type de façon à établir que le groupe est conforme aux stipulations du contrat.
Si le bloc, le transformateur, ou tout autre élément est identique ou comparable à un matériel déjà essayé, le constructeur peut produire un certificat de tout essai effectué auparavant avec les mêmes modalités que celles spécifiées au contrat. En pareil cas, sauf spécification contraire, il n'est pas nécessaire de répéter les essais de type du bloc, du transformateur ou de l'élément constituant considéré.
- 140.5 Tous les éléments constituant le groupe doivent avoir été soumis aux essais individuels.

- 135.8 High values of relative humidity and temperature similar to those associated with sub-tropical or tropical climatic conditions.
- 135.9 Fluctuations of temperature exceeding 5 deg C per hour and relative humidity changes exceeding 5% per hour.
- 135.10 Altitude of more than 1 000 m.
- 135.11 Super-imposed high-frequency voltages of exceptional amplitude.
- 135.12 Operation at ambient temperatures below + 5 °C with water cooling.
- 135.13 Operation at ambient temperatures below - 5 °C with oil cooling.
- 135.14 Other unusual service conditions not covered by this list shall be subject to special agreement between user and supplier before order.
Corrections to be applied when testing equipment specified for service at altitudes above 1 000 m and at ambient temperatures above those available at the works, are given under the test clauses when necessary.

140. **Performance of tests**

- 140.1 It is advisable to confine the performance of costly tests to those which are necessary. This recommendation is therefore outlined so that testing can normally be limited to tests in the manufacturer's works on the separate components in accordance with Clauses 340, 470, 480 and 490.
Other tests such as tests on large, complete equipment or tests on site are to be included only if specified in the contract.
- 140.2 When the user or his representative desires to witness factory tests, he shall so specify in the order.
- 140.3 When agreed before order, the supplier shall provide certified test results of type or routine tests.
- 140.4 Subject to the provisions in the following paragraph, the components of one equipment of each size in the contract shall be subjected to type tests to ensure that the equipment complies with the contract.
If the assembly or transformer or other component is equal to or similar to one previously tested, the supplier may submit a certified report of any previous test at least equal to the requirements specified in the contract. In such cases, the type tests on the assembly, transformer or the component concerned need not be repeated unless specifically agreed in the contract.
- 140.5 All the components to be used in equipments shall be subjected to routine tests.

141. **Classification des essais**

141.1 *Essais de type*

Les essais de type sont effectués pour vérifier si un produit satisfait aux conditions spécifiées et convenues entre l'utilisateur et le fournisseur, conformément à la présente recommandation.

Certains ou tous les 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.

141.2 *Essais individuels*

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

L'essai individuel signifie que chacun des éléments constituant de chaque modèle est essayé.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60146:1973

141. **Classification of tests**

141.1 *Type tests*

The type tests are carried out to verify that a product will meet the requirements specified and agreed between user and supplier according to this recommendation.

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 meets the specified requirements.

141.2 *Routine tests*

The routine tests are carried out to verify that the properties of a product correspond to those measured on the type test.

A routine test means that each one of several components or equipments of the same type is tested.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60146:1973

CHAPITRE II : DIODES DE REDRESSEMENT À SEMICONDUCTEURS ET THYRISTORS

Des recommandations pour des dispositifs et éléments à semiconducteurs qui font partie de convertisseurs fournis en accord avec cette recommandation sont reproduites dans les annexes A et B.

Il est aussi fait référence aux Publications 147-0, 147-1, 147-2 et 148 de la CEI.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60146:1973

CHAPTER II: SEMICONDUCTOR RECTIFIER DIODES AND THYRISTORS

Recommendations for semiconductor devices and stacks which are components of convertors delivered in accordance with this recommendation are reproduced in Appendices A and B.

Reference is also made to IEC Publications 147-0, 147-1, 147-2 and 148.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60146:1973

CHAPITRE III: TRANSFORMATEURS ET BOBINES D'INDUCTANCE

310. Généralités

Cette recommandation s'applique, en général, aux caractéristiques des transformateurs pour convertisseurs qui diffèrent de celles des transformateurs de puissance ordinaires. Dans tous les autres cas, les règles données dans la Publication 76 de la CEI, Recommandation pour les transformateurs de puissance, 2ème édition (1967), s'appliquent aux transformateurs pour convertisseurs dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec cette recommandation.

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.

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 pour un demi-cycle et de même fréquence fondamentale que la tension appliquée en service.

320. Valeurs nominales des transformateurs pour convertisseurs

321. Valeurs nominales de courant

321.1 *Convertisseurs simples ou convertisseurs doubles avec un enroulement commun côté cellules*

Le transformateur de convertisseur doit être capable de supporter, en permanence, le courant correspondant au courant continu nominal du convertisseur, suivi de l'application de son courant de surcharge, quand c'est spécifié, pour la durée spécifiée (paragraphe 463.2) et pour la température maximale de fluide de refroidissement sans dépasser les limites d'échauffement.

321.2 *Convertisseurs doubles avec enroulements côté cellules séparés pour chacun des blocs de thyristors*

Le transformateur de convertisseur doit être capable de supporter, en permanence, sans dépasser les limites d'échauffement, dans chacun des enroulements le courant correspondant au courant continu nominal du convertisseur, suivi de l'application de son courant de surcharge pour la durée spécifiée (paragraphe 463.2) et pour la température maximale de fluide de refroidissement.

Dans le cas où un enroulement côté réseau est commun aux deux enroulements côté cellules, il doit être déterminé selon le paragraphe 321.1.

322. Limites de température des fluides de refroidissement

Équipement extérieur avec refroidissement à air: le transformateur de convertisseur doit être prévu pour fonctionnement à une température ambiante n'excédant pas 40 °C, avec une température moyenne annuelle n'excédant pas 20 °C et avec une valeur moyenne pour une période de 24 heures n'excédant pas 30 °C.

Équipement intérieur avec refroidissement à air: le transformateur de convertisseur doit être prévu pour fonctionnement à une température ambiante de 40 °C.

Équipement avec refroidissement à eau: le transformateur de convertisseur doit être prévu pour fonctionnement à une température d'eau à l'entrée n'excédant pas 25 °C.

Les limites d'échauffement des enroulements sont spécifiées dans l'article 343.

CHAPTER III: TRANSFORMERS AND REACTORS

310. General

This recommendation relates, in general, to those characteristics wherein convertor transformers differ from ordinary power transformers. In all other respects, the rules specified in IEC Publication 76, 2nd edition (1967): Recommendations for Power Transformers, shall apply to convertor transformers also as far as they are not in contradiction with this recommendation.

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.

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 half-cycle arithmetic mean value and the same fundamental frequency as the voltage applied in service.

320. Rated values for convertor transformers

321. Rated current values

321.1 *Single convertor or double convertor supplied from one common cell winding*

The convertor transformer shall be capable of carrying current corresponding to rated direct current of the convertor continuously, followed by overload current (where specified) for the specified duration (Sub-clause 463.2), at maximum cooling medium temperatures without exceeding its thermal limit.

321.2 *Double convertor where each thyristor assembly has separate cell windings*

The convertor transformer shall be capable of carrying in each secondary group the appropriate current corresponding to rated direct current of the convertor continuously, followed by the overload current for the specified duration (Sub-clause 463.2), at maximum cooling medium temperature without exceeding its thermal limit. Where common line winding is used for the two secondary windings, this shall be rated as in Sub-clause 321.1.

322. Temperature limits of cooling media

Air cooled outdoor equipment: the convertor transformer shall be designed to operate at an ambient air temperature which does not exceed 40 °C, does not average more than 20 °C over a year and does not average more than 30 °C for any 24 hour period.

Air cooled indoor equipment: the convertor transformer shall be designed to operate in an ambient air temperature of 40 °C.

Water cooled equipment: the convertor transformer shall be designed to operate with incoming cooling water temperature which does not exceed 25 °C.

Temperature-rise limits are specified in Clause 343.

330. **Pertes et chutes de tension dans les transformateurs et les bobines d'inductance**

331. **Pertes dans les enroulements du transformateur**

Les pertes dans les enroulements qui se manifestent dans les conditions normales de service comprennent les pertes résistives dans le cuivre et les pertes supplémentaires (fonction de la fréquence) dues aux courants parasites, de même que le flux de dispersion dans les enroulements et les parties constructives. En raison des harmoniques, il serait nécessaire, pour mesurer les pertes réelles dans les enroulements, que le transformateur soit en service normal avec le bloc.

Cette méthode de mesure ne peut être recommandée du fait de sa complication et de son imprécision, sauf si les pertes du transformateur et du bloc sont mesurées pendant un seul essai. Dans ces cas et pour des unités n'excédant pas une puissance de sortie de 300 kW, les pertes peuvent être mesurées pendant le fonctionnement à charge nominale.

Dans tous les autres cas, 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 le passage dans les enroulements de courants sinusoïdaux de même valeur efficace que ceux qui existeraient en fonctionnement avec l'assemblage en négligeant l'empiètement (voir tableau II).

Du fait qu'en service normal avec le bloc 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 parasites additionnelles provenant des harmoniques en service normal avec le bloc.

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

332.1 *Bobine d'absorption*

Le constructeur doit mesurer les pertes dans le fer à une fréquence et à une tension calculées de façon à fournir du flux magnétique correspondant au fonctionnement du convertisseur au courant nominal, à la tension nominale et à la valeur du déphasage spécifiée, corrigée à la fréquence disponible la plus rapprochée de la fréquence principale de la bobine d'absorption.

Les pertes dans l'enroulement se calculent en multipliant la résistance en courant continu par le carré du courant continu dans l'enroulement.

332.2 *Inductances d'équilibrage du courant*

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

Les pertes dans l'enroulement font partie de la mesure des pertes totales du convertisseur ou sont calculées 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.

332.3 *Inductance d'égalisation*

Les pertes dans le fer sont négligées par convention.

Les pertes dans l'enroulement font partie de la mesure des pertes totales du convertisseur ou sont calculées en multipliant la résistance en courant continu par le carré du courant continu qui passe dans l'enroulement.

330. **Losses and voltage drops in transformers and reactors**

331. **Losses in the transformer windings**

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 as well as by the stray flux in the windings and in the constructional parts. Due to the harmonics, the actual losses in the windings would require to be measured with the transformer in normal operation with the assembly.

This method of measurement cannot be recommended because it is too complicated and inaccurate unless total losses of transformer and assembly are taken as one measurement. In such cases and for units not exceeding a rated output of 300 kW, the losses may be measured at normal rated load operation.

In all other cases, the losses in the windings are to be calculated from the result of short-circuit measurement carried out with sinusoidal currents. The method is based on the passage of sinusoidal currents in the winding having the same r.m.s. values as those which would exist in operation with the assembly if the overlap was disregarded (see Table II).

Owing to the fact that the r.m.s. values of the currents during normal operation with the 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 assembly are disregarded.

332. **Losses in interphase transformers, current-balancing reactors, series-smoothing reactors, transductors and other current-regulating accessories**

332.1 *Interphase transformer*

The manufacturer shall measure the iron losses at a frequency and voltage calculated to provide the magnetic flux corresponding to operation of the convertor at rated current, voltage and specified phase control, corrected to the available frequency nearest to the principal frequency of the interphase transformer.

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.

332.2 *Current balancing reactors*

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

The losses in the winding are either a part of the convertor loss measurement or 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.

332.3 *Series-smoothing reactor*

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

The losses in the winding are either a part of the convertor loss measurement or calculated as the product of the d.c. resistance and the square of the direct current in the winding.

332.4 *Transducteurs et autres inductances de réglage du courant*

Les pertes dans le fer doivent être mesurées ou calculées dans les conditions du flux magnétique correspondant au fonctionnement du convertisseur au courant nominal, à la tension nominale du côté réseau et à la tension continue spécifiée. La mesure sera faite à une fréquence ramenée à la fréquence réalisable la plus proche de la fréquence principale du flux dans le noyau du transducteur.

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 supplémentaires additionnelles et les ajouter.

Note. – Ces pertes sont destinées à entrer dans les calculs de rendement mais pas dans le projet de construction.

333. **Chutes de tension dans les transformateurs et les inductances**

Les chutes de tension sont calculées à partir des mesures et des formules données par l'article 431.

340. **Essais des transformateurs de convertisseurs**

Tous les essais spécifiés pour les transformateurs de puissance normaux dans la Publication 76 de la CEI (2ème édition), s'appliquent aussi aux transformateurs de convertisseurs s'ils ne sont pas en contradiction avec les essais spécifiés dans ce paragraphe. Les essais spécifiés ci-dessous doivent être considérés comme additionnels ou spéciaux aux transformateurs pour convertisseurs.

341. **Mesure de la réactance de commutation et détermination de la chute inductive de tension (essai de type)**

341.1 Pour mesurer la réactance de commutation, les bornes côté réseau du transformateur sont reliées en court-circuit. On fait circuler entre deux phases commutantes consécutives d'un même groupe commutant un courant à la fréquence nominale et on mesure la tension entre les bornes (côté diodes) ainsi alimentées. La réactance de commutation $2 X_t$ est égale à la composante inductive de l'impédance tirée de cette mesure. Il convient d'effectuer au moins deux essais avec des paires de phases différentes dans chaque groupe commutant et de prendre la moyenne arithmétique des mesures.

Un même primaire peut alimenter un ensemble de groupes commutants débitant en parallèle ou en série et dont les commutations sont simultanées. Dans ce cas, les enroulements côté cellules correspondant à ces groupes doivent être, phase par phase, couplés en parallèle pour les essais ci-dessus.

341.2 La chute inductive de tension peut être calculée à partir de la valeur de X_t au moyen de la formule suivante:

$$d_{xtN} = 100 \frac{\delta \cdot q \cdot s}{2 \pi g} \cdot X_t \cdot \frac{I_{dN}}{U_{di0}}$$

dans laquelle on a:

- g = nombre d'ensembles de groupes commutants entre lesquels se partage I_{dN}
- I_{dN} = courant continu nominal
- q = indice de commutation
- s = nombre de groupes commutants en série
- U_{di0} = tension continue fictive à vide
- δ = nombre de groupes commutants, en commutation simultanée, par primaire.

332.4 *Transducers and other current regulating reactors*

The iron losses shall be measured or calculated at magnetic flux conditions corresponding to operation of the convertor at rated current, rated line voltage and specified direct voltage. Measurement is made at a frequency corrected to the available frequency nearest to the principal frequency of the transductor core flux.

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.

Note. — These losses are for use in efficiency calculations and not for design.

333. **Voltage drops in transformers and reactors**

The voltage drops are calculated from the loss measurements by the formulae given in Clause 431.

340. **Tests for convertor transformers**

All tests specified for power transformers in IEC Publication 76 (2nd edition) shall apply also to convertor transformers if not in contradiction with the tests specified in this clause. The tests specified below are to be regarded as additional or special tests applicable to convertor transformers.

341. **Measurement of commutating reactance and determination of inductive voltage drop (type test)**

341.1 To measure commutating reactance, the line-side terminals of the transformer are short-circuited. An alternating current of rated frequency is passed through two consecutive phases of the same commutating group of the cell winding, and the voltage between the terminals thus fed is measured. The commutating reactance $2 X_t$ is equal to the inductive component of the impedance calculated from this measurement. At least two tests should be carried out with different pairs of phases in each commutating group, and the arithmetic mean value of these measurements is taken.

The same line winding may feed a commutating group assembly connected in parallel or in series, and which commutates simultaneously. In this case, the cell windings corresponding to these groups shall be connected phase by phase in parallel for the above tests.

341.2 The inductive voltage drop can be calculated from the value of X_t by means of the following formula:

$$d_{\text{dN}} = 100 \frac{\delta \cdot q \cdot s}{2 \pi g} \cdot X_t \cdot \frac{I_{\text{dN}}}{U_{\text{di0}}}$$

where: g = number of sets of commutating groups between which I_{dN} is divided

I_{dN} = rated direct current

q = commutation number

s = number of commutating groups in series

U_{di0} = ideal no-load direct voltage

δ = number of commutating groups commutating simultaneously per primary.

Elle peut aussi se déduire de l'essai du paragraphe 341.1 en faisant circuler, lors de cet essai, un courant de valeur efficace

$$\frac{\sqrt{2}}{4} \cdot \frac{\delta}{g} \cdot I_{dN}$$

dans ce cas, la composante inductive de la tension d'entrée, exprimée en pour cent de la tension nominale entre bornes U_{v0} , représente la chute inductive de tension d_{xti} .

Pour les montages donnés dans le tableau II, cette chute inductive peut être déduite de l'essai en court-circuit tel que spécifié dans la colonne 18 à l'exception des montages n°s 3, 4, 6, 11a et 13a pour lesquels l'essai de court-circuit spécifié au paragraphe 341.1 est recommandé (voir paragraphe 412.4).

Si les courants secondaires sont trop élevés, cette méthode ne peut pas être applicable; toute autre méthode équivalente comportant la mise en court-circuit d'enroulements côté cellules peut alors être utilisée.

342. **Essai en court-circuit (essai de type et essai individuel)**

L'essai est réalisé en vue d'obtenir les pertes totales dans les enroulements du transformateur.

Les essais à faire et les connexions convenables de court-circuit pour les montages les plus usuels sont indiqués au tableau II. Les courants dans les enroulements seront sinusoïdaux et de mêmes valeurs efficaces dans les conducteurs de ligne que ceux qui correspondraient en service normal au courant continu nominal en négligeant l'angle d'empîement et à la fréquence nominale.

Pour chacun des essais en court-circuit A, B et C respectivement, les puissances d'entrée seront mesurées. Ces dernières seront désignées par P_A , P_B et P_C respectivement et les pertes totales seront calculées selon la formule donnée dans le tableau II.

Les pertes mesurées dans les enroulements doivent être ramenées à une température d'enroulement de la valeur limite spécifiée (tableau I) plus 20 °C.

343. **Essai d'échauffement (essai de type)**

Une mesure de l'échauffement des enroulements de transformateur doit être faite après une charge permanente égale à la charge nominale. L'échauffement ne dépassera pas les valeurs données dans le tableau I.

Les valeurs du tableau I sont basées sur des températures ambiantes et du fluide de refroidissement spécifiées dans l'article 322 et pour un fonctionnement à une altitude inférieure à 1 000 mètres. Les corrections à faire pour des températures plus élevées du fluide de refroidissement sont données dans l'annexe C.

It can also be obtained from the test described in Sub-clause 341.1 above by passing during the test a current with an r.m.s. value of:

$$\frac{\sqrt{2}}{4} \cdot \frac{\delta}{g} \cdot I_{dN}$$

in this case, the inductive component of the input voltage expressed as a percentage of the rated voltage between terminals U_{v0} , represents the inductive voltage drop d_{xt1} .

For connections given in Table II, the inductive voltage drop can be calculated from the results of secondary short-circuit tests specified in column 18, with the exception of connections Nos. 3, 4, 6, 11a and 13a for which the short-circuit test specified in Sub-clause 341.1 is recommended (see Sub-clause 412.4).

Should the secondary current be too high, this method cannot be applied; any other equivalent method comprising a winding short-circuit on the cell side may then be used.

342. **Short-circuit test (type test and routine test)**

The test is performed to obtain the total losses in the transformer windings.

The tests to be made and appropriate short-circuit connections for the most commonly used connections are indicated in Table II. The currents in the windings shall be sinusoidal with the same r.m.s. values in the line leads as would exist in normal operation at rated direct current if the overlap is disregarded and at rated frequency.

For each short-circuit test A, B and C respectively, the power inputs shall be measured. The power inputs are designated P_A , P_B and P_C respectively and the total losses are calculated according to the formulae given in Table II.

The measured losses in the windings are to be corrected to a winding temperature of specified limit value (Table I) plus 20 °C.

343. **Temperature-rise test (type test)**

A temperature-rise measurement of the transformer windings shall be made after continuous application of rated load. The temperature rise shall not exceed the values given in Table I.

The values in Table I are based on ambient and cooling medium temperatures specified in Clause 322 and operation at an altitude not greater than 1 000 metres. Corrections to be applied at higher cooling medium temperatures are given in Appendix C.

TABLEAU I

Classe de service du convertisseur (article 463.2)	Fluide de refroidissement du transformateur	Classe de température du transformateur	Limite d'échauffement de l'enroulement en deg C mesurée par résistance	
			1	2
I et II	Air	A B H	60 80 125	55 80 150
	Huile	A A+	65 –	55 65
III	Air	A B H	55 70 110	55 80 150
	Huile	A A+	65 –	55 65
IV	Air	A B H	50 65 100	50 80 150
	Huile	A A+	60 –	55 65
V	Air	A B H	45 60 90	45 75 140
	Huile	A A+	50 –	50 60
VI	Air	A B H	40 55 85	40 70 130
	Huile	A A+	50 –	50 60

Notes 1. – Les limites de température données dans les colonnes 1 et 2 reflètent deux pratiques et conditions de climat différentes dans deux parties du monde différentes. Il sera demandé aux Comités d'Etudes traitant des transformateurs d'étudier le problème en vue de concilier les différences, si cela est techniquement faisable.

2. – Les chiffres d'échauffement sont basés sur une température maximale ambiante de 40 °C, avec une température moyenne annuelle n'excédant pas 20 °C, et une température moyenne journalière d'ambiance de 30 °C.

3. – On peut utiliser d'autres classes de transformateurs. Dans ces cas, et si les chiffres d'échauffement ne sont pas donnés dans le tableau, ils doivent faire l'objet d'un accord entre utilisateur et fournisseur.

4. – La classe de température A+ spécifie un papier avec des qualités thermiques supérieures et avec une température locale permise de 120 °C.

TABLE I

Converter duty class (Clause 463.2)	Transformer cooling medium	Transformer temperature class	Limit of winding temperature rise in deg C measured by resistance	
			1	2
I and II	Air	A B H	60 80 125	55 80 150
	Oil	A A+	65 –	55 65
III	Air	A B H	55 70 110	55 80 150
	Oil	A A+	65 –	55 65
IV	Air	A B H	50 65 100	50 80 150
	Oil	A A+	60 –	55 65
V	Air	A B H	45 60 90	45 75 140
	Oil	A A+	50 –	50 60
VI	Air	A B H	40 55 85	40 70 130
	Oil	A A+	50 –	50 60

Notes 1. – Temperature limits given in columns 1 and 2 reflect two different practices and climate conditions in different areas of the world. Technical Committees dealing with transformers will be asked to study the problem with a view to reconciling the differences if this is technically feasible.

2. – The temperature-rise figures are based on a maximum ambient temperature of 40°C, with an average annual temperature not exceeding 20°C and an average daily ambient temperature of 30°C.

3. – Other transformer temperature classes may be used. In such cases and when temperature-rise figures are not shown in the table, these are to be agreed upon by users and supplier.

4. – Temperature class A+ designates thermally upgraded paper with a permissible hot spot temperature of 120 °C.

CHAPITRE IV : GROUPES CONVERTISSEURS ET BLOCS

410. Montages et facteurs de calculs

411. Montages

Le tableau II montre quelques-uns des montages les plus courants. Dans les figures où les enroulements côté cellules de transformateur et les bornes sont numérotés, les bornes de même numéro doivent être jointes.

Sur certaines figures, on a indiqué différents couplages de transformateurs. Cela veut dire que toute combinaison des couplages des enroulements côté réseau et des enroulements côté cellules peut être retenue. Pour le montage 33, les couplages côté cellules doivent être tous deux soit triangle, soit étoile.

Les montages 31 à 34 inclus comportent des réactances destinées à limiter le courant de circulation entre les deux convertisseurs. Quelque économie peut être obtenue par l'emploi de réactances saturables. On peut aussi supprimer le courant de circulation par l'effet des dispositifs de commande. Dans ce cas, les réactances peuvent être supprimées. Les facteurs pour les calculs seront les mêmes dans tous les cas.

Dans les montages homogènes, des thyristors sont représentés, mais ces montages s'appliquent aussi aux diodes de redressement à l'exception des montages 31 à 34.

Dans les montages 21 et 22, les diodes de "by-pass" qui sont représentées peuvent être utilisées ou non.

Le tableau donne l'indice de pulsation et l'indice de commutation des montages. Les facteurs pour le calcul des courants et des pertes sont précisés à l'article 412.

412. Facteurs de calculs

Le calcul des transformateurs de convertisseurs et les valeurs des tensions appliquées aux éléments convertisseurs dépendent du montage du convertisseur. Les renseignements nécessaires pour les calculs sont donnés dans le tableau II.

CHAPTER IV : CONVERTOR EQUIPMENTS AND ASSEMBLIES

410. Electrical connections and calculation factors

411. Electrical connections

Table II shows some of the more commonly used connections. In figures where the transformer cell windings and cell connection terminals are numbered, the terminals with equal numbers shall be combined.

In some of the figures different transformer connections are indicated. This means that any combination of line-side connection and cell-side connection may be chosen. It shall be noted that in connection 33 the cell-side connections must be either two Δ -windings or two Y-windings.

In connections 31 to 34 inclusive, reactors to limit circulating currents between the two convertors are indicated. Some savings can be realized by making the reactors saturable. Circulating currents can also be reduced to zero by the use of proper trigger equipment in which case reactors can be deleted. The calculation factors will be the same whatever method is used.

In all uniform connections, thyristors are indicated but the connections are applicable also for rectifier diodes except connections 31 to 34.

In connections 21 and 22, by-pass diodes are indicated which may or may not be included.

The table gives the pulse number and commutating number of the connections. The calculation factors for currents and losses are discussed in Clause 412.

412. Calculation factors

The design of the convertor transformers and the voltage values appearing over the convertor elements are dependent upon the electrical connection of the convertor. The information needed for calculation is given in Table II.

TABLEAU II

N° du montage	Couplage de transformateur		Couplage des cellules	p	q	$\frac{\partial q s}{g}$	Facteur de courant côté réseau F_L/I_d	Facteur de courant côté cellules I_n/I_d	$\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{im}}{U_{d10}}$	$\frac{U_{i0m}}{U_{d10}}$	$\frac{d_{\alpha N}}{e_{\alpha N}}$	Bornes à court-circuiter pour l'essai de mesure des pertes du transformateur			Pertes totales dans les enroulements en convertisseur	Bornes à court-circuiter pour $e_{\alpha N}$
	Côté réseau	Côté cellules											A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Convertisseur simple, montage à une voie																	
1				2	2	2	0,5	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0,45 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	3,14 (π)	3,14 (π)	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0-1	0-2		$\frac{P_A + P_B}{2}$	1-2
2				3	3	3	0,472 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	0,577 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	0,675 $\left(\frac{3}{\pi}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	0,866 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$	1-2-3			$P_A + \frac{P_2}{3} I_d^2$	1-2-3
3				6	6	6	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1,35 $\left(\frac{3}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	1,5 à 0,5	1-3-5	2-4-6		$1,5 \frac{P_A + P_B}{2}$	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6
4				6	6	6	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1,35 $\left(\frac{3}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	1,5 à 0,5	1-2	3-4	5-6	$\frac{P_A + 2P_B + 3P_C}{6}$	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6
5				6	3	3	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	0,289 $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	0,675 $\left(\frac{3}{\pi}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	2,09 $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$	2,42 $\left(\frac{4\pi}{3\sqrt{3}}\right)$	0,5	1-3-5	2-4-6		$\frac{P_A + P_B}{2}$	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6
6				6	2	2	0,272 $\left(\frac{1}{3}\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	0,236 $\left(\frac{1}{3\sqrt{2}}\right)$	0,45 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	3,14 (π)	3,14 (π)	0,75 à 0,5	1-3-5 I II III	2-4-6 I II III		$1,125 \frac{P_A + P_B}{2}$	1-4 2-5 3-6
Convertisseur simple, montage à deux voies homogènes																	
9				2	2	8	1	1	0,9 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	1-2			P_A	1-2
10				6	3	6	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0,5	1-2-3			P_A	1-2-3
11a				12	3	3	0,789 $\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}\right)$	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right) \left(\frac{\pi}{\pi}\right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0,52 à 0,26	1-3-5	2-4-6		$0,035 (P_A + P_B) + 0,930 P_C$	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6

r_2 = résistance de l'un des trois enroulements de cellule

TABLE II

Con- nec- tion No.	Transformer connection		Cell connection	p	q	$\frac{\delta g_s}{g}$	Line side current factor I_L/I_d	Cell side current factor I_c/I_d	$\frac{U_{d10}}{U_{d0}}$	$\frac{U_{1m}}{U_{d10}}$	$\frac{U_{10m}}{U_{d10}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	Terminals to be short-circuited at transformer loss test			Total losses in windings in converter operation	Terminals to be short- circuited for e_{xN}
	Line side	Cell side											A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Single converter, single-way connections																	
1				2	2	2	0.5	0.707	0.45	3.14	3.14	0.707	0-1	0-2		$\frac{P_A + P_B}{2}$	1-2
2				3	3	3	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0.577	0.675	2.09	2.09	0.866	1-2-3			$P_A + \frac{P_B}{3}$	1-2-3
3				6	6	6	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0.408	1.35	2.09	2.09	1.5	1-3-5	2-4-6		$1.5 \frac{P_A + P_B}{2}$	Average of 1-3-5 and 2-4-6
4				6	6	6	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0.408	1.35	2.09	2.09	1.5	1-2	2-3	Aver- age of 1-3-5 and 2-4-6	$\frac{P_A + 2P_B + 3P_C}{6}$	Average of 1-3-5 and 2-4-6
5				6	3	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0.289	0.675	2.09	2.42	0.5	1-3-5	2-4-6		$\frac{P_A + P_B}{2}$	Average of 1-3-5 and 2-4-6
6				6	2	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0.236	0.45	3.14	3.14	0.75	1-3-5	2-4-6		$1.125 \frac{P_A + P_B}{2}$	1-4 2-5 3-6
Single converter, uniform double-way connections																	
9				2	2	8	1	1	0.9	1.57	1.57	0.707	1-2			P_A	1-2
10				6	3	6	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0.816	1.35	1.05	1.05	0.5	1-2-3			P_A	1-2-3
11a				12	3	3	$\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}$	0.408	1.35	1.05	1.05	0.52	1-3-5	2-4-6		$0.035 (P_A + P_B) + 0.930 P_C$	Average of 1-3-5 and 2-4-6

r_2 = resistance of one cell winding

TABLE II (cont.)

Con- nec- tion No.	Transformer connection		Cell connection	p	q	$\frac{\delta g_s}{g}$	Line side current factor F_L/I_d	Cell side current factor I_v/I_d	$\frac{U_{d0}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{im}}{U_{d0}}$	$\frac{U_{i0m}}{U_{d0}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	Terminals to be short-circuited at transformer loss test			Total losses in windings in converter operation	Terminals to be short- circuited for e_{xN}
	Line side	Cell side											A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
11b	Same as 11a but with two separate transformers		Same as 11a	12	3	3	$\frac{0.789}{(1+\sqrt{3})}$ $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	0.408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1.35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0.52			1-3-5 2-4-6	$1.07 P_C$	1-3-5 2-4-6
12				12	3	3	$\frac{0.789}{(1+\sqrt{3})}$ $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	0.408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1.35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0.26	Average of 1-3-5 and 2-4-6	2-3 4-5 6-1	1-2 3-4 5-6	$1.34 P_A - 0.08 P_B - 0.27 P_C$	Average of 1-3-5 and 2-4-6
13a				12	3	12	$\frac{1.578}{(1+\sqrt{3})}$ $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	0.816 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	2.7 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	0.524 $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	0.524 $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	0.52 to 0.26	1-3-5 2-4-6		1-3-5 2-4-6	$0.035 (P_A + P_B) + 0.930 P_C$	Average of 1-3-5 and 2-4-6
13b	Same as 13a but with two separate transformers		Same as 13a	12	3	12	$\frac{1.578}{(1+\sqrt{3})}$ $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	0.816 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	2.7 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	0.524 $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	0.524 $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	0.52			1-3-5 2-4-6	$1.07 P_C$	1-3-5 2-4-6
Single converter, non-uniform double-way connections																	
21				2	2	-	$\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	0.9 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	1.57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	0.707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	1-2			P_A	1-2
22				6	3	-	See sub- clause 412.2	See sub- clause 412.3	1.35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	1.05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0.5	1-2-3			P_A	1-2-3
Double converter connections																	
31				See connection No. 5													
32				See connection No. 5													
33				See connection No. 10													
34				See connection No. 10													

412.1 Rapport de tension

Le tableau II donne les rapports:

$$\frac{U_{di0}}{U_{v0}}, \frac{U_{i0m}}{U_{di0}} \text{ et } \frac{U_{im}}{U_{di0}}$$

où: U_{di0} = tension continue fictive à vide

U_{v0} = tension de l'enroulement côté cellules indiquée sur le tableau

U_{i0m} = tension fictive de crête à vide (paragraphe 121.32)

U_{im} = tension fictive de crête (paragraphe 121.33)

412.2 Facteur de courant côté réseau

Le rapport de la valeur efficace I_L' du courant côté réseau au courant continu I_d est donné au tableau II; il est établi en supposant que le courant continu est suffisamment filtré, que les ondes de courant alternatif sont de forme rectangulaire et que le rapport de transformation dans le cas de montage à une voie ou à deux voies est le suivant:

$$\frac{\text{tension entre phases côté réseau}}{\text{tension entre phases côté cellules}} = \frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

Le courant côté réseau est approximativement:

$$I_L = I_L' \cdot \frac{U_{v0}}{U_L}$$

Note. — Pour le montage 22, le facteur de courant côté réseau dépend de l'angle de retard:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}; I_L/I_d = 0,816 \left(= \sqrt{\frac{2}{3}} \right)$$

$$\frac{\pi}{3} < \alpha < \pi; I_L/I_d = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

412.3 Facteur de courant côté cellules

Le rapport de la valeur efficace I_v du courant côté cellules et circulant dans chaque borne du transformateur au courant continu I_d est donné au tableau II.

Note — Pour le montage 22, le facteur de courant côté cellules dépend de l'angle de retard:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}; I_v/I_d = 0,816 \left(= \sqrt{\frac{2}{3}} \right)$$

$$\frac{\pi}{3} < \alpha < \pi; I_v/I_d = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

412.4 Variation de tension

Le tableau II donne le rapport:

$$\frac{d_{xtN}}{e_{xN}}$$

entre la variation de tension continue d_{xtN} à la charge nominale due à la réactance de commutation du transformateur, exprimée en pour cent de U_{di0} et la composante inductive e_{xN} de la tension de court-circuit du transformateur au courant côté réseau nominal I_{LN} pour l'équipement complet, exprimée en pour cent de la tension alternative nominale U_{LN} . Les enroulements secondaires à court-circuiter sont donnés dans la colonne 18.

La variation inductive de tension continue d_{xtN} peut être calculée à partir de e_{xN} d'un transformateur triphasé, seulement pour des montages avec un nombre de commutation q égal à 3.

412.1 Voltage ratios

Table II gives the ratios:

$$\frac{U_{di0}}{U_{v0}}, \frac{U_{i0m}}{U_{di0}} \text{ and } \frac{U_{im}}{U_{di0}}$$

where: U_{di0} = ideal no-load direct voltage

U_{v0} = transformer cell winding voltage as shown in the table

U_{i0m} = ideal crest no-load voltage (Sub-clause 121.32)

U_{im} = ideal crest voltage (Sub-clause 121.33)

412.2 Line side current factor

The quotient of the r.m.s. value I_L' of the current on the line side and the direct current I_d is indicated in Table II on the assumption of smooth direct current, rectangular waveshape of the alternating currents and on the following voltage ratio for single or double-way connections:

$$\frac{\text{phase-to-phase voltage on line side}}{\text{voltage between two commutating phases on cell side}} = \frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

The line-side current is approximately:

$$I_L = I_L' \cdot \frac{U_{v0}}{U_L}$$

Note. — For connection 22, the line-side current factor depends on the delay angle α as follows:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}; I_L/I_d = 0.816 \left(= \sqrt{\frac{2}{3}} \right)$$

$$\frac{\pi}{3} < \alpha < \pi; I_L/I_d = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

412.3 Cell-side current factor

The quotient of the r.m.s. value I_v of the cell-side current in each terminal of the transformer and the direct current I_d is indicated in Table II.

Note. — For connection 22, the cell-side current factor depends on the delay angle as follows:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}; I_v/I_d = 0.816 \left(= \sqrt{\frac{2}{3}} \right)$$

$$\frac{\pi}{3} < \alpha < \pi; I_v/I_d = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

412.4 Voltage regulation

Table II gives the ratio:

$$\frac{d_{xIN}}{e_{xN}}$$

between the direct voltage regulation d_{xIN} at rated load due to the transformer commutating reactance, expressed in per cent of U_{di0} and the inductive component e_{xN} of the transformer impedance voltage at rated line current I_{LN} for the whole equipment expressed in per cent of rated alternating voltage U_{LN} . The secondaries being short-circuited according to column 18.

The direct inductive voltage regulation d_{xIN} can be calculated from the knowledge of e_{xN} of a three-phase transformer only for connections with a commutating number q equal to 3.

Pour tous autres montages avec transformateur triphasé, le quotient de d_{xN} par e_{xN} dépend de la proportion de réactances primaires et secondaires dans le transformateur. Pour quelques montages du tableau II, on a donné par conséquent deux chiffres pour le quotient de la chute inductive de tension, la première pour une inductance primaire négligeable, et la deuxième pour une inductance secondaire négligeable. Pour de tels montages, il est préférable de calculer d_{xN} par la méthode de l'article 341.

Notes 1. — On suppose que l'angle d'empiètement u est plus petit que $\frac{2\pi}{p}$, p = indice de pulsation.

2. — Pour les montages numéros 11b et 13b, les chiffres de la colonne 13 sont valables pour e_{x1} défini pour le courant côté réseau de l'équipement complet. Si chaque transformateur est essayé séparément avec le courant côté réseau nominal individuel ($= 0,816 I_{dN}$ et $1,632 I_{dN}$ respectivement), les valeurs de la colonne 13 sont 0,50.
3. — Dans les Publications 84 et 146 de la CEI (premières éditions), la tension U_0 est la tension phase-neutre côté cellules dans les montages à simple voie et la tension entre phases dans les montages à double voie (voir tableau II de la Publication 84 de la CEI). Dans la présente publication, U_0 est utilisé uniformément pour la tension entre phases côté cellules à la fois pour les montages à simple et à double voie. Pour cette raison, les valeurs indiquées dans la colonne 10 du tableau II diffèrent des valeurs correspondantes données dans les Publications 84 et 146 (premières éditions) de la CEI.

412.5 *Circuit magnétique*

On suppose que les circuits magnétiques correspondant aux montages alimentés par des courants triphasés du tableau II ont trois noyaux.

412.6 *Facteur de pertes*

Le tableau II donne le rapport entre les pertes dans le fonctionnement du convertisseur et les pertes au cours des essais de court-circuit pour le courant côté réseau nominal I_{LN} de l'équipement complet et en accord avec les colonnes 14, 15, 16.

La validité de ce facteur est limitée conformément à l'article 331.

420. **Pertes et rendement, facteur de puissance, facteur de conversion**

421. **Généralités sur les pertes et le rendement**

Le rendement des groupes ou blocs doit être le rendement de puissance (paragraphe 123.2). Pour les groupes dont la puissance utile nominale ne dépasse pas 300 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 par une mesure des pertes internes dans un essai de court-circuit et un essai à faible charge, ou par un calcul des pertes internes. Pour tous les autres groupes, on fera une mesure ou un calcul des pertes internes. Les appareils dont la consommation est comprise dans le calcul du rendement global doivent être indiqués.

Dans tous les cas où il peut y avoir hésitation à tenir ou à ne pas tenir compte des pertes d'un élément constitutif, on devra spécifier si ces pertes sont ou non comprises dans le calcul du rendement annoncé.

Pour certains des éléments constitutants du groupe convertisseur, on doit tenir compte des paragraphes suivants.

422. **Pertes comprises**

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

- 422.1 Pertes intérieures dans le bloc, telles que pertes dans les thyristors et leurs connexions, dans les diodes et leurs connexions, dans les coupe-circuit, les diviseurs de tension, les dispositifs d'équilibrage du courant, les circuits d'amortissement à capacités et résistances et les par-surtensions.

For all other connections with a three-phase transformer, the ratio between d_{xN} and e_{xN} is depending on the proportions of primary and secondary reactances in the transformer. For some connections in Table II are consequently given two figures for the inductive voltage drop ratio, the first one valid for negligible primary inductance and the second one valid for negligible secondary reactance. For these connections, it is recommended to use the method of Clause 341 for determination of d_{xN} .

Notes 1. – It is assumed that the angle of overlap u is less than $\frac{2\pi}{p}$, p being the pulse number.

2. – For connection numbers 11b and 13b, the figures in column 13 assume that e_{x1} is defined for the line current of the whole equipment. If each transformer is tested separately with its rated line current ($= 0.816 I_{dN}$ and $1.632 I_{dN}$ respectively), the value of column 13 shall read 0.50.

3. – In IEC Publications 84 and 146 (1st edition), the voltage U_{v0} is the valve side phase-to-neutral voltage in single-way connections and phase-to-phase voltage in double-way connections (see Table II of IEC Publication 84). In this publication, U_{v0} is used uniformly for the cell side phase-to-phase voltage for both single and double-way connections. For this reason, the values given in column 10 of Table II for single-way connections differ from the corresponding values given in IEC Publications 84 and 146 (1st editions).

412.5 *Magnetic circuit*

The magnetic circuits corresponding to the connections supplied with 3-phase currents in Table II are assumed to have three legs.

412.6 *Power loss factor*

Table II gives the relation between power losses in converter operation and on the short-circuit test at rated line current I_{LN} for the whole equipment and according to columns 14, 15, 16.

The validity of this factor is restricted according to Clause 331.

420. **Losses and efficiency, power factor and conversion factor**

421. **General about losses and efficiency**

The efficiency of converter assemblies or equipments shall be declared as power efficiency (Sub-clause 123.2).

For units not exceeding 300 kW rated output and rated current not exceeding 5 000 amperes and for single-phase equipment of all sizes, the efficiency may be determined by a measurement of a.c. and d.c. power at normal load conditions or by a measurement of internal losses in a short-circuit test and a light-load test or by a calculation of internal losses, at the choice of the manufacturer. For all other units, a measurement of internal losses or a calculation of internal losses shall be applied.

The apparatus included in the determination of the overall efficiency shall be stated.

In any case of doubt whether the losses of a component of the converter 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. For certain of the components in the converter equipment, the following clauses shall be considered.

422. **Included losses**

The following losses shall be included when determining the efficiency:

- 422.1 Internal losses in the assembly such as losses in thyristors and their connections, in rectifier diodes and their connections, in fuses, potential dividers, current balancing means, capacitor-resistor damping circuits and voltage surge divertors.

- 422.2 Pertes dans le transformateur, la bobine d'absorption, les inductances de limitation et d'équilibrage du courant entre le transformateur et les blocs de cellules. Pertes dans les transformateurs auxiliaires côté réseau et inductances faisant partie du groupe et fournies aux termes du même contrat.
- 422.3 Pertes dans des transducteurs utilisés pour le réglage de tension du convertisseur.
- 422.4 Pertes dues aux connexions principales entre le transformateur et le bloc de cellules dans le cas où le transformateur et le bloc sont construits ensemble et fournis comme une unité.
- 422.5 Puissance absorbée par les auxiliaires tels que les ventilateurs ou pompes, les relais, les amplificateurs, lorsqu'ils sont reliés en permanence.
- 422.6 Pertes dans les inductances d'égalisation et les filtres d'ondes, lorsqu'ils sont livrés par le fournisseur du groupe.
- 422.7 Puissance absorbée par les appareils de réduction de l'augmentation de tension à vide, lorsqu'ils sont continuellement en circuit.
- 422.8 Pertes dues au courant de circulation dans le cas de montages de convertisseurs doubles.
- 422.9 Consommation du dispositif de commande, s'il en existe (paragraphe 121.9).

423. **Pertes non comprises**

Les pertes suivantes ne doivent pas être comprises lors de la détermination du rendement mais doivent être indiquées séparément sur demande et si les éléments constitutants correspondants sont fournis par le fournisseur du groupe.

- 423.1 Pertes dans les connexions principales entre le transformateur et le bloc de cellules si le transformateur et le bloc sont fournis séparément.
- 423.2 Pertes dans les connexions principales entre les disjoncteurs, sectionneurs, interrupteurs et avec la charge.
- 423.3 Pertes dans les disjoncteurs, sectionneurs, interrupteurs et dans les organes de commande autres que ceux énumérés à l'article 422.
- 423.4 Pertes dues au chauffage et à la ventilation du bâtiment et à l'alimentation en fluide de refroidissement.
- 423.5 Pertes dues à la résistance de charge, s'il en existe, destinées à absorber le courant récupéré à partir du réseau courant continu.
- 423.6 Pertes dues aux auxiliaires qui ne fonctionnent que par intermittence.
- 423.7 Pertes dans l'inductance d'égalisation ou dans le filtre d'ondes, lorsqu'ils ne sont pas fournis avec le groupe.
- 423.8 Pertes dans l'équipement de commande (paragraphe 121.10).

- 422.2 Losses in transformer, interphase transformer, current limiting and balancing reactors between transformer and thyristor or diode assemblies and the losses of the line side auxiliary transformers and reactors forming part of the equipment and delivered under the same contract.
- 422.3 Losses in transducers used for convertor voltage control.
- 422.4 Losses due to main connections between transformer and assembly for the case when transformer and assembly are built together and delivered as a unit.
- 422.5 Power absorbed by auxiliaries such as permanently connected fans or pumps, relays.
- 422.6 Losses in series smoothing reactors and in wave filters, when supplied by the supplier of the convertor equipment.
- 422.7 Power absorbed by apparatus for reducing the no-load voltage rise, if permanently in the circuit.
- 422.8 Losses due to circulating currents in double convertor connections.
- 422.9 Power consumed by the trigger equipment (Sub-clause 121.9), if any.

423. **Not-included losses**

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 supplier of the convertor equipment.

- 423.1 Losses due to the main connections between transformer and assembly if the transformer and the assembly are delivered as separate units.
- 423.2 Losses due to the main connections to circuit-breakers, disconnectors, switches and to the load.
- 423.3 Losses in circuit-breakers, disconnectors, switches and in control gear other than the items mentioned in Clause 422.
- 423.4 Losses due to heating and ventilation of the building and in the cooling supply.
- 423.5 Losses due to the loading resistance, if any, for absorbing regenerated current from the d.c. network.
- 423.6 Losses due to auxiliary apparatus which operates only intermittently.
- 423.7 Losses in the series smoothing reactor and in wave filter, when not supplied with the convertor equipment.
- 423.8 Losses in system control equipment (Sub-clause 121.10).

424. Facteur de puissance

424.1 Généralités

Pour les convertisseurs dont l'indice de pulsation est égal à 6 ou plus, le facteur de puissance présente peu d'intérêt dans la pratique, la valeur utile pour les utilisations normales étant le facteur de déphasage $\cos \varphi$.

Pour cette raison, si une garantie est prescrite, elle doit, sauf spécification contraire, se référer au facteur de déphasage et pour des tensions du réseau alternatif qui sont à la fois symétriques et sinusoïdales.

Le facteur de déphasage pour des montages homogènes triphasés à semiconducteurs doit être déterminé par le calcul à partir des valeurs mesurées des réactances et du courant magnétisant dans les éléments constitutifs du groupe, conformément au paragraphe 424.4.

Pour les groupes monophasés dépassant la puissance nominale de 300 kW, pour les montages triphasés à deux voies hétérogènes, et pour les convertisseurs à commande séquentielle, la méthode de détermination du facteur de déphasage doit être spécifiée.

Quand un convertisseur fonctionne comme redresseur, il absorbe de la puissance active et réactive du système c.a.

Quand un convertisseur fonctionne comme onduleur, il fournit de la puissance active au système en courant alternatif, mais absorbe encore de la puissance réactive.

424.2 Légende pour la détermination du facteur de déphasage

$\cos \varphi_N$ = valeur à calculer du facteur de déphasage global pour le courant continu nominal, comprenant l'effet du courant magnétisant du transformateur en plus de l'effet du réglage de phase, s'il en existe

$\cos \varphi'_N$ = facteur de déphasage pour le courant continu nominal en l'absence du courant magnétisant du transformateur et pour un angle de retard nul

$\cos \varphi'_{\alpha N}$ = facteur de déphasage pour le courant continu nominal en l'absence du courant magnétisant du transformateur et pour un angle de retard égal à α

$\cos \varphi'_{\beta N}$ = facteur de déphasage pour le courant continu nominal en l'absence du courant magnétisant du transformateur et pour un angle d'avance égal à β

d_{rN} = $d_{rIN} + d_{rBN}$ = chute ou augmentation résistive totale de tension continue pour la charge nominale, en pourcentage de U_{di0}

d_{xN} = $d_{xIN} + d_{xBN} + d_{LN}$ = chute ou augmentation inductive totale de tension pour la charge nominale, en pourcentage de U_{di0}

d_{xIN} = chute inductive de tension continue due au transformateur pour le courant continu nominal, en pourcentage de U_{di0}

d_{xBN} = chute inductive de tension continue due aux autres éléments du convertisseur, par exemple bobines d'anode, bobines côté réseau et transformateurs, etc., s'il en existe, pour le courant continu nominal, en pourcentage de U_{di0}

I_{dN} = courant continu nominal du convertisseur

U_{di0} = tension continue fictive à vide

U_{dN} = tension continue nominale

U_{dpN} = tension continue fictive interne pour la charge nominale, y compris la chute ou l'augmentation résistive totale de tension continue

S_{ILN} = $U_{di0} \cdot I_{dN} = \sqrt{3} \cdot U_{LN} \cdot I_{ILN}$ = puissance apparente côté réseau pour la charge nominale, basée sur l'onde fondamentale I_{ILN} du courant de ligne

P_{LN} = $U_{dpN} \cdot I_{dN}$ = puissance active côté réseau pour la charge nominale

Q_{LN} = puissance réactive côté réseau pour la charge nominale

424. Power factor

424.1 General

For convertors with a pulse number of 6 or more, the total power-factor 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 network voltages which are both symmetrical and sinusoidal.

The displacement factor for three-phase uniform thyristor connections shall be determined by calculation from the measured reactances and magnetizing current of the components of the equipment in accordance with Sub-clause 424.4.

For single-phase equipment exceeding 300 kW rated output, for equipments with non-uniform three-phase connections and for convertors with sequence control, the method of determining the displacement factor is to be specified.

When a convertor is operating in the rectifier range, it is consuming active and reactive power from the a.c. system.

When a convertor is operating in the inverter range, it is delivering active power into the a.c. system but still consuming reactive power from it.

424.2 Symbols used in the determination of displacement factor

$\cos \varphi_N$ = required overall displacement factor at rated direct current, including the effect of transformer magnetizing current in addition to the effect of phase control, if any

$\cos \varphi'_N$ = displacement factor at rated direct current in absence of transformer magnetizing current and for zero delay angle

$\cos \varphi'_{\alpha N}$ = displacement factor at rated direct current in the absence of transformer magnetizing current for phase control with delay angle α

$\cos \varphi'_{\beta N}$ = displacement factor at rated direct current in the absence of transformer magnetizing current for phase control with angle of advance β

d_{rN} = $d_{r1N} + d_{r2N}$ = total resistive direct voltage drop or increase at rated load in per cent of U_{di0}

d_{xN} = $d_{x1N} + d_{x2N} + d_{LN}$ = total inductive direct voltage drop or increase at rated load in per cent of U_{di0}

d_{x1N} = inductive direct voltage drop due to the transformer at rated direct current, in per cent of the ideal no-load direct voltage

d_{x2N} = inductive direct voltage drop due to other parts of the convertor, e.g. anode reactors, line side reactors and transformers, etc., if any, at rated current, in per cent of the ideal no-load direct voltage

I_{dN} = rated direct current of the convertor

U_{di0} = ideal no-load direct voltage expressed in volts

U_{dN} = rated direct voltage

U_{dpN} = fictitious internal direct voltage at rated load including the total resistive direct voltage drop or increase

S_{1LN} = $U_{di0} \cdot I_{dN} = \sqrt{3} \cdot U_{LN} \cdot I_{1LN}$ = apparent power on line side at rated load, based on the fundamental wave I_{1LN} of the line current

P_{LN} = $U_{dpN} \cdot I_{dN}$ = real power on line side at rated load

Q_{LN} = reactive power on line side at rated load

- S_m = puissance de court-circuit en VA du réseau, courant alternatif, basée sur son impédance. Il est supposé que le rapport de la résistance à la réactance du réseau courant alternatif est petit
- p = indice de pulsation
- α = angle de retard de réglage de phase en fonctionnement comme redresseur
- β = angle d'avance de réglage de phase en fonctionnement comme onduleur
- γ = angle de marge de commutation en fonctionnement comme onduleur
- φ'_N = angle de déphasage de l'onde fondamentale du courant de redresseur de ligne pour le courant continu nominal, en l'absence du courant magnétisant du transformateur
- α_p = angle de déphasage propre
- α = suffixe en fonctionnement comme redresseur avec angle de retard égal à α
- β = suffixe en fonctionnement comme onduleur avec angle d'avance égal à β

424.3 Diagramme du cercle pour l'approximation du facteur de déphasage $\cos \varphi$, et de la puissance réactive Q_L dans le fonctionnement d'un convertisseur comme redresseur ou onduleur

Le facteur de déphasage approximatif $\cos \varphi'_N$ et la puissance réactive approximative Q_{LN} d'un convertisseur peuvent être estimés à l'aide du diagramme du cercle donné figure 5.

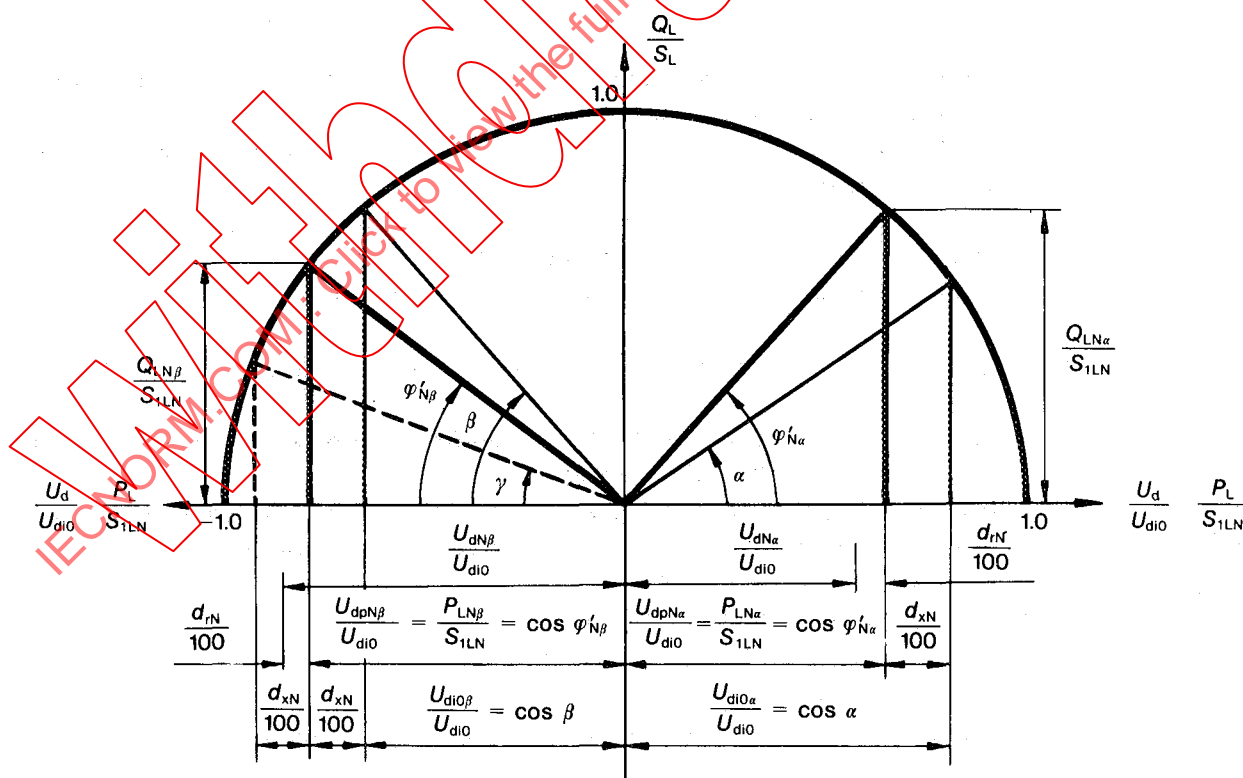


FIGURE 5

S_m = short-circuit capacity in VA of the a.c. system based on its impedance. The ratio of resistance to reactance of a.c. system is assumed to be small

p = pulse number

α = angle of delay of phase control in rectifier operation

β = angle of advance of phase control in inverter operation

γ = margin angle of commutation for inverter operation

φ'_N = displacement angle of fundamental wave of rectifier line current at rated direct current, neglecting transformer magnetizing current

α_p = inherent delay angle

α = suffix for rectifier operation with the delay angle α

β = suffix for inverter operation with the angle of advance β

424.3 Circle diagram for approximation of the displacement factor $\cos \varphi$ and of the reactive power Q_L for rectifier and inverter operation of a converter

The approximate displacement factor $\cos \varphi'_N$ and the approximate reactive power Q_{LN} for a converter may be estimated by use of the circle diagram given in Figure 5.

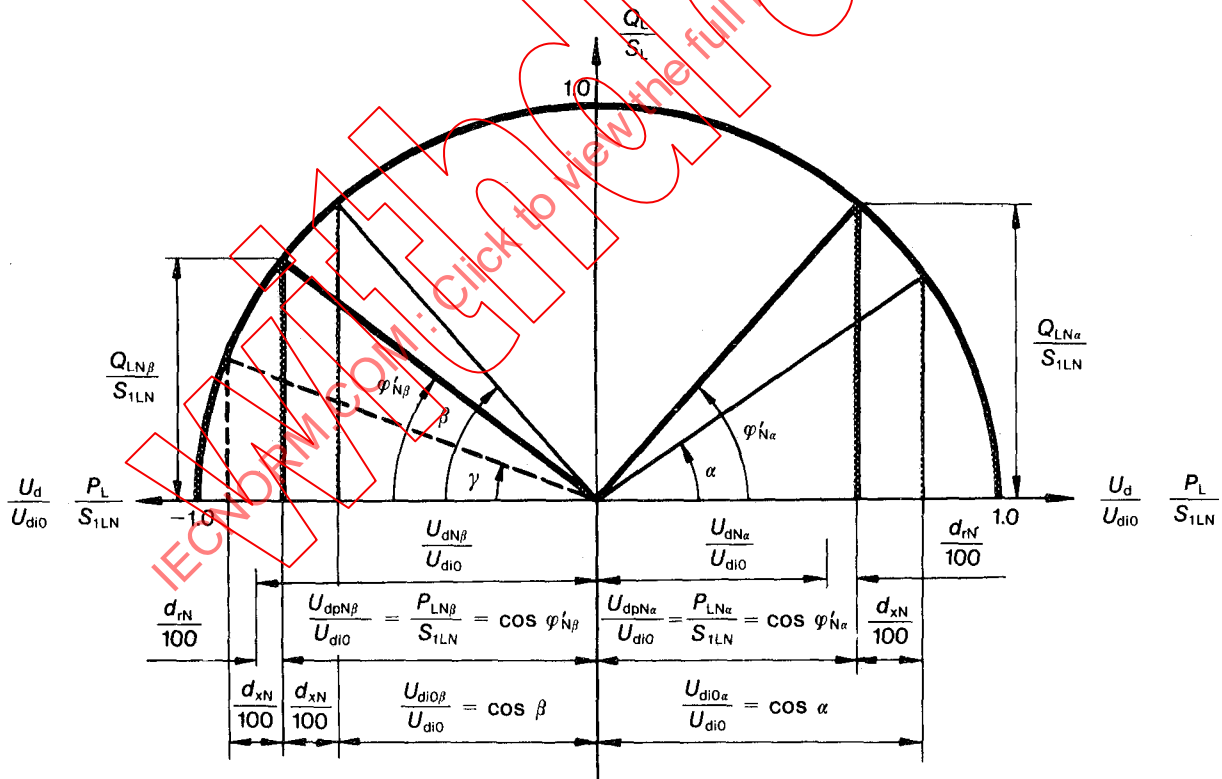


FIGURE 5

424.4 Calcul du facteur de déphasage $\cos \varphi$

424.4.1 $\cos \varphi'_N$ = facteur de déphasage pour le courant continu nominal en l'absence du courant magnétisant du transformateur et pour un angle de retard nul

Il s'obtient, à partir de la valeur appropriée de la réactance du réseau à courant alternatif, en utilisant les figures 6a et 6b. Sauf spécification contraire, il est admis que la tension efficace aux bornes du côté réseau est maintenue constante.

La figure 6a est à utiliser dans le cas des montages à rapport d'ondulation égal à 6.

La figure 6b pour un rapport d'ondulation égal à 12.

Les valeurs de α_p indiquées à la figure 6b représentent le déphasage propre qui se produit dans certaines conditions de fonctionnement des montages à 12 pulsations, même s'il n'y a pas de réglage de phase. Dans le cas de convertisseurs avec réglage de phase, le déphasage propre représente le plus petit angle de déphasage qui peut exister dans les conditions indiquées.

424.4.2 $\cos \varphi'_{aN}$ = facteur de déphasage pour le courant continu nominal en l'absence du courant magnétisant du transformateur et pour un angle de retard égal à α

S'il existe un réglage de phase avec un angle de retard α , la valeur correspondante $\cos \varphi'_{aN}$ se calcule par la formule suivante, dont l'exactitude est suffisante pour les besoins pratiques.

$$\cos \varphi'_{aN} = \cos \alpha - (1 - \cos \varphi'_N)$$

Là où des valeurs de α_p sont indiquées dans les courbes de la figure 6b, la formule doit être remplacée par la formule suivante:

$$\cos \varphi'_{aN} = \cos \alpha - (\cos \alpha_p - \cos \varphi'_N)$$

Pour le fonctionnement en onduleur, le facteur de déphasage peut aussi être obtenu avec la formule suivante:

$$\cos \varphi'_{aN} = \cos \beta + (1 - \cos \varphi'_N)$$

Pour un onduleur, l'abscisse dans les figures 6a et 6b représente l'augmentation inductive de la tension continue pour la charge nominale en pourcentage de U_{d10} .

424.4.3 $\cos \varphi_N$ = facteur de déphasage global pour le courant continu nominal comprenant l'effet du courant magnétisant du transformateur en plus de l'effet du réglage de phase

Il s'obtient en partant de $\cos \varphi'_N$ ou de $\cos \varphi'_{aN}$ ou de $\cos \varphi'_{\beta N}$ suivant le cas, et en utilisant la figure 7.

424.4.4 Pour se servir des courbes des figures 6 et 7 à d'autres charges qu'à la charge nominale, il faut prendre les valeurs réelles de I_d , d_{x1} , d_{xb} , $\cos \varphi'$ et $\cos \varphi'_a$ afin d'obtenir le $\cos \varphi$ correspondant au courant continu réel I_d , c'est-à-dire:

$$(d_{x1} + d_{xb}) = (d_{x1N} + d_{xbN}) \frac{I_d}{I_{dN}}$$

Le paramètre de la figure 7 est alors le courant magnétisant du transformateur exprimé en pour cent de la composante active du courant côté réseau du transformateur à la charge réelle.

424.4 Calculation of the displacement factor $\cos \varphi$

424.4.1 $\cos \varphi'_N$ = displacement factor at rated direct current in the absence of transformer magnetizing current and for zero delay angle

This is to be obtained, for the appropriate value of a.c. system reactance, from the Figures 6a and 6b. If not otherwise stated, it is assumed that the r.m.s. value of the line side terminal voltage is kept constant.

Figure 6a is used for 6-pulse connections.

Figure 6b is used for 12-pulse connections.

The values of α_p indicated in Figure 6b are the values of inherent delay angle which occurs in a 12-pulse connection in certain operating regions, even where no phase control is applied. For phase-controlled convertors, they represent the minimum delay angles that can exist under the conditions indicated.

424.4.2 $\cos \varphi'_{aN}$ = displacement factor, at rated direct current, in the absence of transformer magnetizing current, and for delay angle α

If there is phase control with delay angle α , the corresponding value $\cos \varphi'_{aN}$ shall be calculated from the following formula, which is sufficiently accurate for practical purposes:

$$\cos \varphi'_{aN} = \cos \alpha - (1 - \cos \varphi'_N)$$

Where values of α_p are indicated in the curves of Figure 6b, the formula shall be replaced by the following formula:

$$\cos \varphi'_{aN} = \cos \alpha - (\cos \alpha_p - \cos \varphi'_N)$$

For the inverter range, the displacement factor may also be obtained from the following formula:

$$\cos \varphi'_{\beta N} = \cos \beta + (1 - \cos \varphi'_N)$$

For an inverter, the abscissa in Figures 6a and 6b represent the inductive direct voltage increase at rated load in percent of U_{d10} .

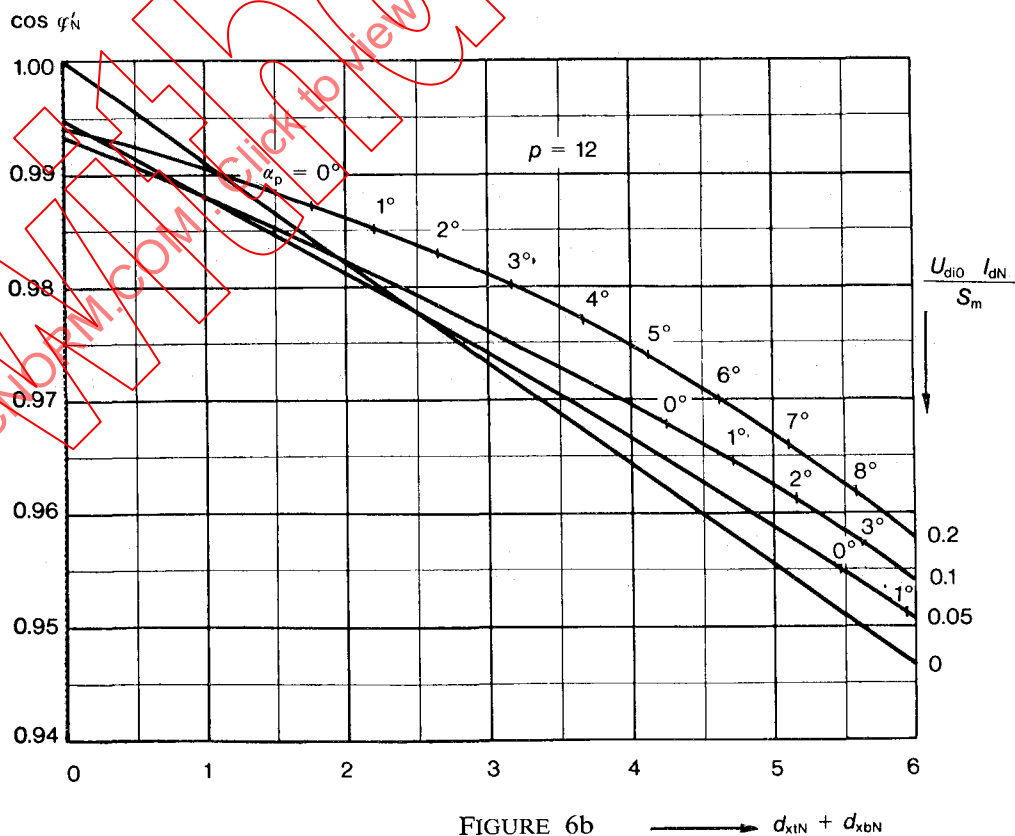
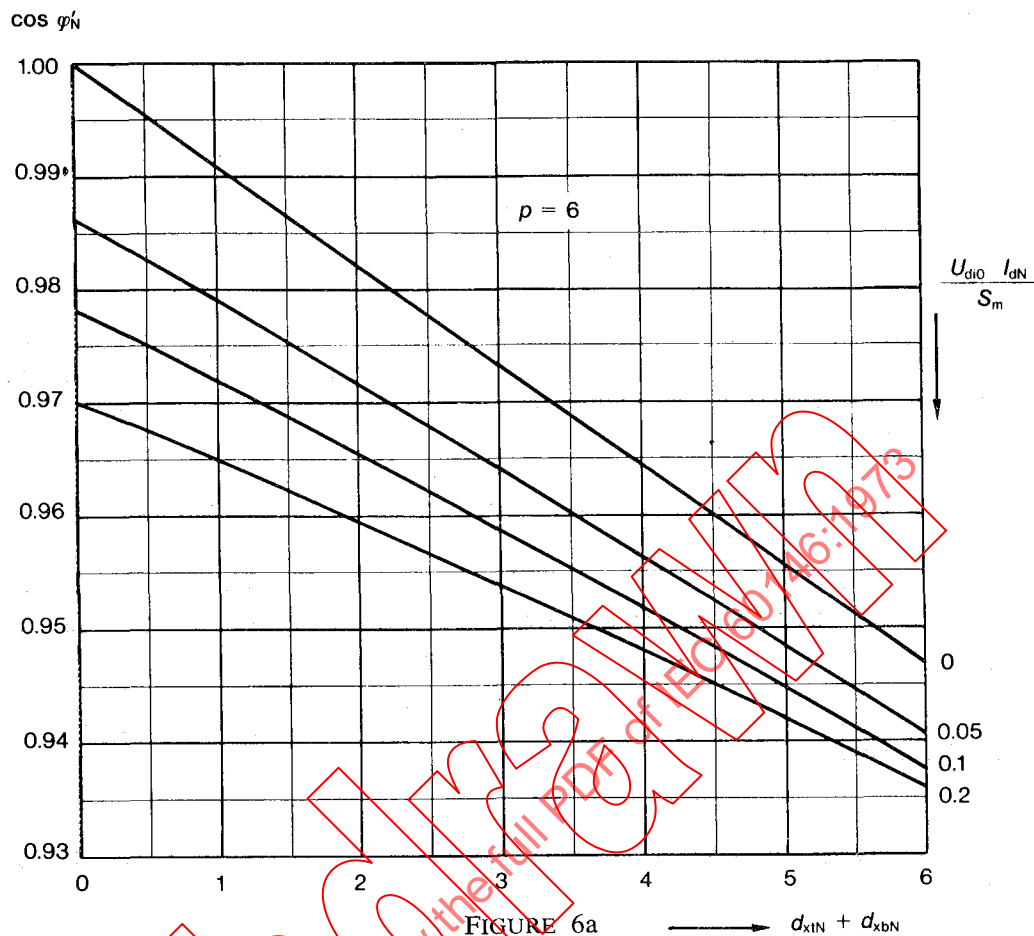
424.4.3 $\cos \varphi_N$ = overall displacement factor at rated direct current, including the effect of transformer magnetizing current in addition to the effect of phase control

This shall be obtained from $\cos \varphi'_N$ or $\cos \varphi'_{aN}$ or $\cos \varphi'_{\beta N}$ as the case may be, by means of Figure 7.

424.4.4 When using the curves of Figures 6 and 7 for other loads than rated load, the actual values of I_d , d_{xt} , d_{xb} , $\cos \varphi'$ and $\cos \varphi_a$ have to be taken to obtain the $\cos \varphi$ for actual direct current I_d . That is:

$$(d_{xt} + d_{xb}) = (d_{xtN} + d_{xbN}) \frac{I_d}{I_{dN}}$$

The parameter of Figure 7 is then the magnetizing current of the transformer in per cent of active component of line side current of transformer at actual load.



- Page blanche -

- Blank page -

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60146:1973

Withd2M

425. Facteur de conversion

Pour des convertisseurs avec un rapport d'ondulation 6 ou plus, le facteur de conversion est presque égal au rendement en puissance (article 123).

Le facteur de conversion sera donné en plus du rendement en puissance, spécialement pour les convertisseurs de faible puissance, pour des convertisseurs avec un rapport d'ondulation de 6 ou moins si l'utilisateur le préfère dans des applications où la puissance des composantes de courant et de tension alternative dans le circuit courant continu est considérée ne pas contribuer à la puissance utile.

Le facteur de conversion sera toujours déterminé par la méthode entrée/sortie pour des conditions de charge spécifiées.

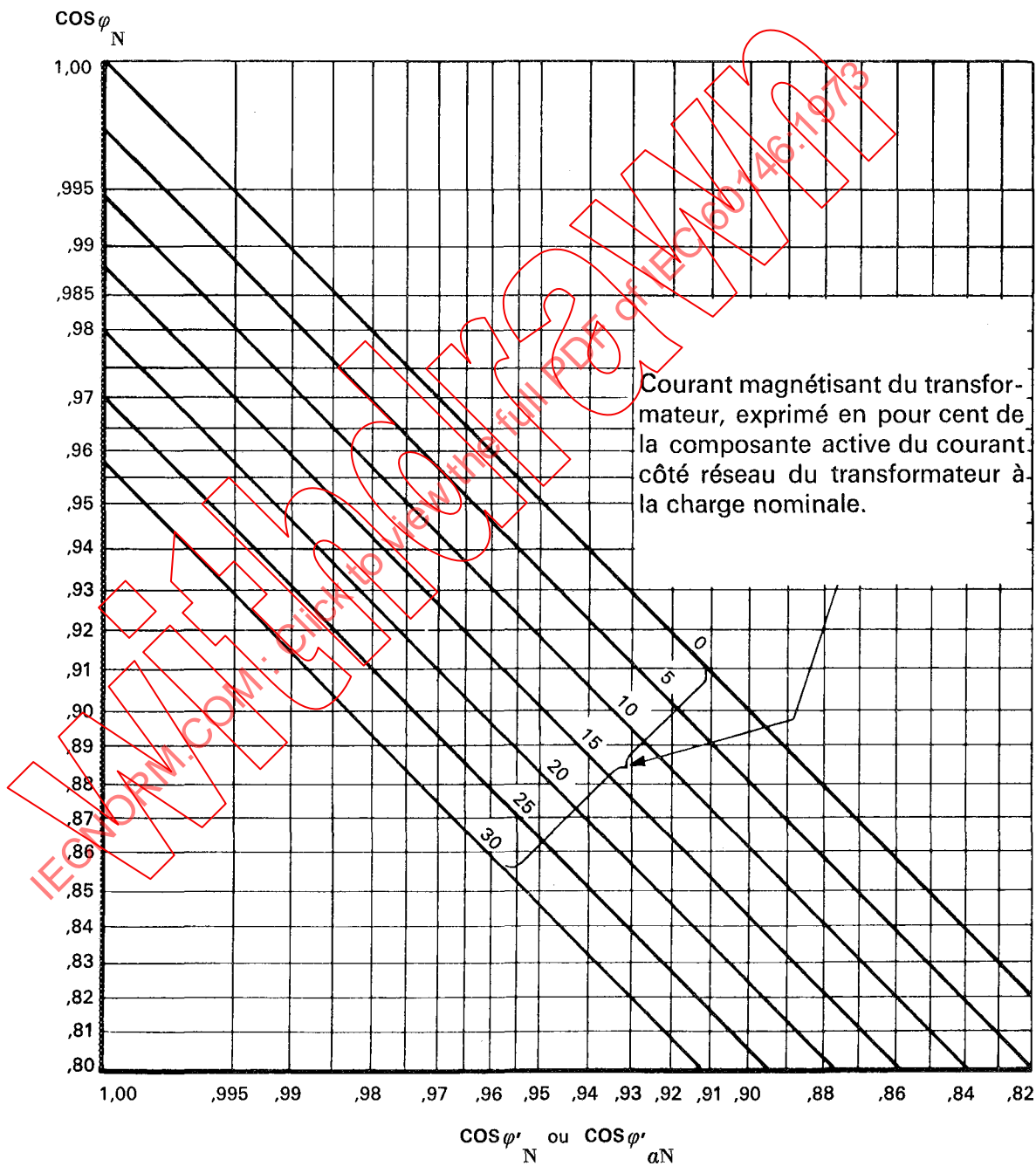


FIGURE 7

425. Conversion factor

For convertors with a pulse number of 6 or more, the conversion factor and the power efficiency are almost equal (Clause 123).

The conversion factor shall be given in addition to the power efficiency especially for low power convertors, for convertors with pulse number of 6 or less if specified by the user in cases of applications where the power of the a.c. components of currents and voltages in the d.c. circuit is regarded not to contribute to the useful power.

The conversion factor shall always be determined by the input/output method for specified load conditions.

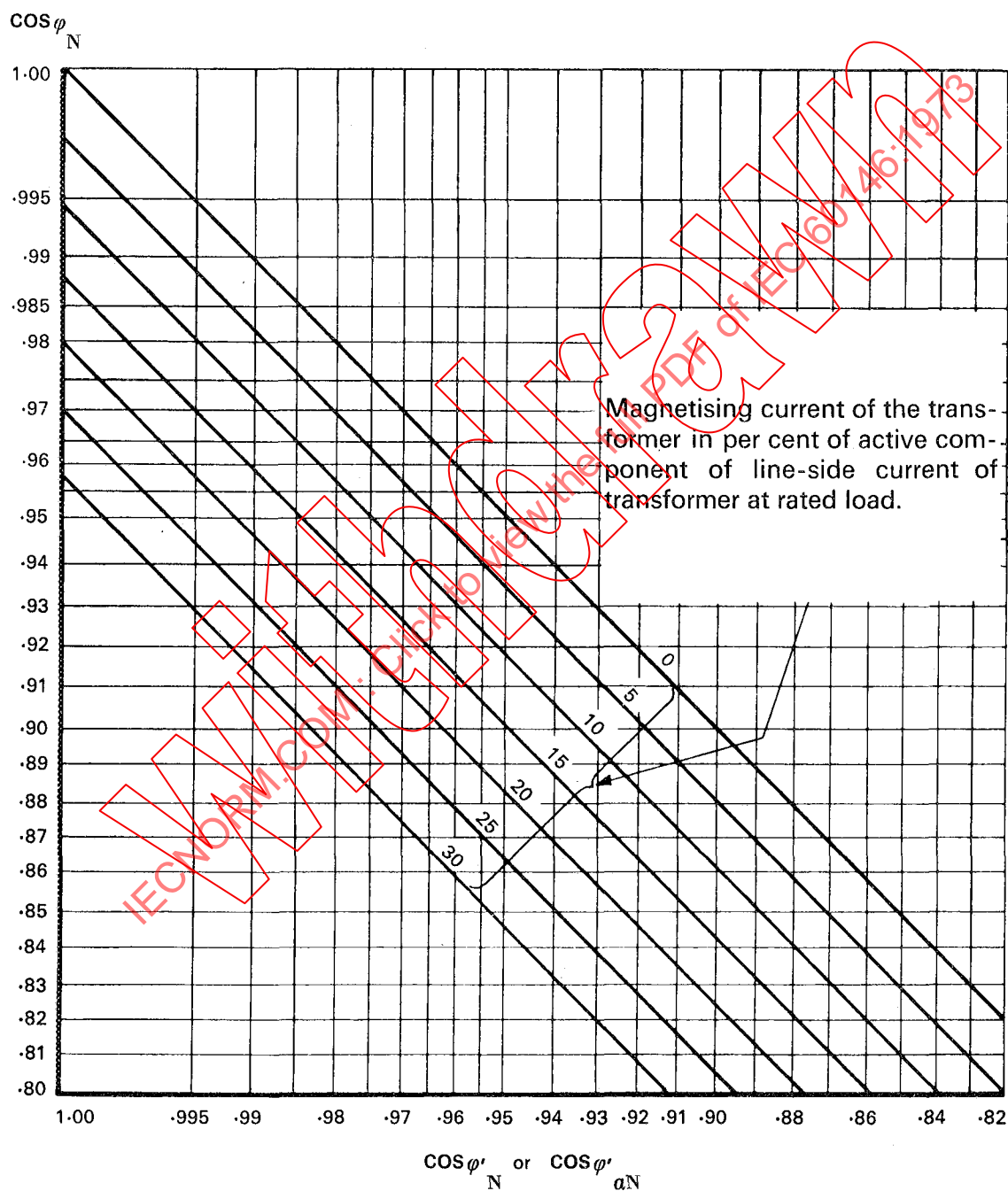


FIGURE 7

430. **Variation de tension**

431. **Variation propre de la tension continue**

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 groupe convertisseur, par exemple inductances, etc., et de la variation de la chute de tension à l'état passant dans le bloc convertisseur.

La variation de tension continue est exprimée en volts.

Quand un convertisseur à thyristors fonctionne dans la région "onduleur", la chute de tension donne une augmentation de la tension continue.

La variation de tension doit être rapportée à la prise principale du transformateur. Il est admis que la tension alternative aux bornes du convertisseur du côté réseau est constante.

La variation propre de tension doit se calculer à partir des résistances et réactances des éléments constitutifs du groupe, sauf pour les groupes de puissance utile nominale ne dépassant pas 300 kW et dont les courants continus 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 en charge.

Pour les groupes monophasés dont la puissance utile nominale dépasse 300 kW, pour les groupes à thyristors en montage hétérogène et pour les convertisseurs à commande séquentielle, la méthode de détermination de la variation propre de tension doit être spécifiée.

431.1 *Variation résistive de tension continue due au transformateur principal et à la bobine d'absorption*

On la calcule au moyen de la formule:

$$U_{drtN} = \frac{\text{Pertes en watts dans les enroulements du transformateur pour le courant nominal}}{\text{Courant continu nominal}}$$

431.2 *Variation résistive de tension continue due aux autres constituants (par exemple, inductances d'égalisation du courant, réactances côté réseau, transducteurs, dispositifs d'équilibrage de partage de courant, thyristors, diodes, etc.)*

On la calcule au moyen de la formule:

$$U_{drbN} = \frac{\text{Pertes en watts dans les composants pour le courant nominal}}{\text{Courant continu nominal}}$$

431.3 *Variation inductive de tension continue due au transformateur de convertisseur*

Pour tous les montages, la variation inductive de tension continue peut être calculée d'après l'essai de réactance de commutation du transformateur (article 341) au moyen de la formule:

$$U_{xtN} = d_{xtN} \cdot U_{di0} / 100$$

Pour les montages indiqués au tableau II, on peut également calculer la variation de tension du facteur

$$\left(\frac{d_{xtN}}{e_{xN}} \right)$$

donné dans le tableau II, et du facteur e_{xN} (voir le paragraphe 412.4)

$$U_{dxtN} = \left(\frac{d_{xtN}}{e_{xN}} \right) \cdot e_{xN} \cdot U_{di0} / 100$$

430. **Voltage regulation**

431. **Inherent direct voltage regulation**

The inherent voltage regulation is given by the sum of the direct voltage drops, produced by the transformer and other parts of the convertor equipment, such as reactors, etc., plus the change with current of on-state voltage for thyristors and forward voltage for diodes.

The direct voltage regulation is expressed in volts.

When a thyristor convertor operates in the inverter range, the voltage drop is adding to and gives an increase in the direct voltage.

The voltage regulation shall refer to the principal tap of the transformer. It is assumed that the alternating voltage at the line side terminals of the convertor is constant.

The inherent voltage regulation shall be calculated from the resistances and reactances of the components of the equipment. For equipments not exceeding 300 kW rated output and rated direct current not exceeding 5 000 amperes, the voltage regulation may be determined by direct measurement in an input-output load test on the equipment if so preferred by the manufacturer.

For single-phase equipment exceeding 300 kW rated output, for equipments with non-uniform thyristor connections and for convertors with sequence control, the method of determining the inherent voltage regulation shall be specified.

431.1 *Resistive direct voltage regulation due to main and interphase transformer*

This is calculated by the formula:

$$U_{drtN} = \frac{\text{Watt losses in transformer windings at rated current}}{\text{Rated direct current}}$$

431.2 *Resistive direct voltage regulation due to other components (e.g. series-smoothing reactors, line side reactors, transductors, current balancing means, diodes, thyristors, etc.).*

This is calculated from the formula:

$$U_{drbN} = \frac{\text{Watt losses in the components at rated current}}{\text{Rated direct current}}$$

431.3 *Inductive direct voltage regulation due to the convertor transformer*

For all connections, the inductive voltage drop can be computed from the transformer commutating reactance test (Clause 341) using the formula:

$$U_{xtN} = d_{xtN} \cdot U_{di0} / 100$$

For connections listed in Table II, the voltage drop can also be calculated from the factor

$$\left(\frac{d_{xtN}}{e_{xN}} \right)$$

given in Table II and e_{xN} (see Sub-clause 412.4)

$$U_{dxtN} = \left(\frac{d_{xtN}}{e_{xN}} \right) \cdot e_{xN} \cdot U_{di0} / 100$$

431.4 *Variation inductive de tension continue due aux autres constituants* (par exemple, bobines d'inductance côté réseau, bobines d'équilibrage du courant, etc.)

On utilisera les symboles suivants dans l'expression des formules:

- d_{xbLN} = variation inductive de tension continue pour I_{dN} , due aux bobines d'inductance du côté réseau, en pourcentage de U_{di0}
- d_{xbvN} = variation inductive de tension continue pour I_{dN} , due aux bobines d'inductance du côté cellules, en pourcentage de U_{di0}
- U_{dxbLN} = variation inductive de tension continue correspondant à d_{xbLN} , exprimée en volts
- U_{dxbvN} = variation inductive de tension continue correspondant à d_{xbvN} , exprimée en volts
- X_{bL} = réactance par phase du côté réseau des bobines d'inductance, transformateurs, etc., en ohms
- X_{bv} = réactance par phase du côté cellules de la bobine d'inductance, transformateur, etc., en ohms
- I_{bN} = valeur efficace du courant dans la bobine d'inductance qui correspond au courant continu nominal I_{dN} , calculé en admettant des courants de forme rectangulaire
- I_{dN} = courant continu nominal
- U_{bN} = tension nominale entre phases aux bornes de la bobine d'inductance du côté réseau
- g = nombre de groupes commutants entre lesquels I_{dN} se répartit
- p = indice de pulsation
- q = indice de commutation
- s = nombre de groupes commutants connectés en série
- δ = nombre de groupes commutants par bobine d'inductance qui commutent simultanément

431.4.1 Pour les bobines d'inductance, transformateurs, etc., intercalés côté réseau:

Pour un système triphasé:

$$d_{xbLN} = 100 \cdot \sqrt{3} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \quad \%$$

$$U_{dxbLN} = \sqrt{3} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \cdot U_{di0}$$

Pour un système monophasé:

$$d_{xbLN} = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \quad \%$$

$$U_{dxbLN} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \cdot U_{di0}$$

431.4.2 Pour les bobines d'inductance côté cellules:

$$d_{xbvN} = 100 \cdot \frac{\delta q s}{2 \pi g} \cdot \frac{I_{dN} X_{bv}}{U_{di0}} \quad \%$$

$$U_{dxbvN} = \frac{\delta q s}{2 \pi g} \cdot I_{dN} \cdot X_{bv}$$

431.5 *Variation totale de tension continue*

La variation totale de tension continue pour le courant nominal, exprimée en pour cent de la tension fictive à vide, est donnée par:

$$U_{drtN} + U_{dxtN} + U_{drbN} + U_{dxbN} = U_{dtN} + U_{dbN}$$

U_{dtN} = variation totale de tension continue pour le courant nominal, due au transformateur principal et à la bobine d'absorption (s'il y a lieu), exprimée en volts.

U_{dbN} = variation totale de tension continue pour le courant nominal, due aux autres parties du convertisseur, exprimée en volts.

431.4 *Inductive direct voltage regulations due to other components (e.g. line side reactors, current balancing reactors, etc.)*

The following symbols are used in the calculation formulae:

d_{xbLN} = inductive direct voltage regulation at I_{dN} due to line side reactors in per cent of U_{di0}

d_{xbvN} = inductive direct voltage regulation at I_{dN} due to cell side reactors in per cent of U_{di0}

U_{dxbLN} = inductive direct voltage regulation corresponding to d_{xbLN} expressed in volts

U_{dxbvN} = inductive direct voltage regulation corresponding to d_{xbvN} expressed in volts

X_{bL} = reactance per phase on line side of reactor, transformer, etc., in ohms

X_{bv} = reactance per phase on cell side of reactor, transformer, etc., in ohms

I_{bN} = r.m.s. current in reactor corresponding to rated direct current I_{dN} calculated on the basis of rectangular current wave form

I_{dN} = rated direct current

U_{bN} = rated phase-to-phase voltage at the line side terminals of the reactor, etc.

g = number of commutating groups between which I_{dN} is divided

p = pulse number

q = commutating number

s = number of commutating groups in series

δ = number of commutating groups commutating simultaneously per reactor

431.4.1 For reactors, transformers, etc., on line side

For 3-phase systems:

$$d_{xbLN} = 100 \cdot \sqrt{3} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \%$$

$$U_{dxbLN} = \sqrt{3} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \cdot U_{di0}$$

For single-phase systems:

$$d_{xbLN} = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \%$$

$$U_{dxbLN} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{bN} X_{bL}}{U_{bN}} \cdot U_{di0}$$

431.4.2 For cell side reactors:

$$d_{xbvN} = 100 \cdot \frac{\delta q s}{2 \pi g} \cdot \frac{I_{dN} X_{bv}}{U_{di0}} \%$$

$$U_{dxbvN} = \frac{\delta q s}{2 \pi g} \cdot I_{dN} \cdot X_{bv}$$

431.5 *Total inherent direct voltage regulation*

The total inherent direct voltage regulation at rated direct current, expressed in volts, is given by:

$$U_{drtN} + U_{dxtN} + U_{drbN} + U_{dxbN} = U_{dtN} + U_{dbN}$$

U_{dtN} = total direct voltage regulation at rated direct current due to main and interphase transformer (if any), expressed in volts.

U_{dbN} = total direct voltage regulation at rated direct current due to other components of the convertor, expressed in volts.

432. Variation de tension continue due à l'impédance du réseau à courant alternatif

432.1 Influence de l'impédance du réseau à courant alternatif sur la variation de la tension continue

La charge du convertisseur peut modifier la valeur efficace et la forme d'onde de la tension alternative à ses bornes côté réseau alternatif. Cette influence dépend de l'indice de pulsation et du rapport de la charge du convertisseur à la puissance de court-circuit du réseau à courant alternatif, basée sur l'impédance du réseau vue des bornes côté réseau du convertisseur. Des phénomènes de résonance provenant de la présence de grandes batteries de condensateurs peuvent provoquer des variations imprévues de la tension continue. (Cela peut se présenter comme une augmentation de tension dans un système dodécaphasé.)

Egalement, quand la tension efficace aux bornes du côté réseau du convertisseur est maintenue constante, comme il est admis dans la présente recommandation, l'influence de la réactance du réseau à courant alternatif sur la forme d'onde de la tension alternative entraîne l'apparition d'une chute de tension additionnelle aux bornes côté continu du convertisseur.

432.2 Informations nécessaires pour calculer la variation de tension continue additionnelle due à l'impédance du système à courant alternatif

Pour permettre au fournisseur de calculer l'influence de l'impédance du réseau à courant alternatif, l'utilisateur devrait lui indiquer avant la commande les caractéristiques de ce système. Si la puissance de court-circuit du réseau est donnée dans ce but, elle doit correspondre à la configuration du système pour laquelle la variation totale de tension doit être calculée.

432.2.1 Variation de tension continue lorsque la résistance et la réactance du réseau à courant alternatif sont connues.

Le fournisseur doit indiquer les deux valeurs suivantes:

La variation propre totale de tension continue du convertisseur (paragraphe 431.5).

La variation totale de tension du convertisseur ($U_{diN} + U_{dbN} + U_{dLN}$). Il faut remarquer que cette variation totale de tension continue s'entend pour le cas où la tension aux bornes du côté réseau du convertisseur est maintenue constante.

432.2.2 Variation de tension continue lorsque la résistance et la réactance du réseau à courant alternatif ne sont pas indiquées par l'acheteur.

Le fournisseur doit indiquer les deux valeurs suivantes:

La variation propre totale de tension continue du convertisseur (paragraphe 431.5).

La variation de tension totale du convertisseur ($U_{diN} + U_{dbN} + U_{dLN}$) à tension efficace constante aux bornes côté réseau et en supposant une certaine valeur finie spécifiée de la puissance de court-circuit du réseau à courant alternatif.

Le fournisseur peut, en variante, attirer l'attention de l'utilisateur sur la figure 8 qui permet de calculer la variation de tension totale, pour n'importe quelle valeur de la puissance de court-circuit du réseau à courant alternatif.

432.3 Calcul de la variation de tension continue additionnelle U_{dLN} due à l'impédance du réseau à courant alternatif

La figure 8 donne la chute de tension additionnelle d_{LN} en pourcentage de U_{di0} pour le courant continu nominal, due à l'impédance du réseau à courant alternatif. La chute de tension U_{dLN} correspondante est:

$$U_{dLN} = \frac{d_{LN} \cdot U_{di0}}{100} \text{ en volts}$$

Sauf spécification contraire, il est admis que la tension efficace aux bornes côté réseau du convertisseur est maintenue constante. L'angle de retard propre est nul sauf où les valeurs de α_p sont indiquées.

432. **Direct voltage regulation due to a.c. system impedance**

432.1 *Influence of a.c. system impedance on d.c. voltage regulation of the convertor*

The load of the convertor may change the r.m.s. value and the wave form of the a.c. voltage at its line-side terminals. This influence depends upon the pulse number and the ratio of the load on the convertor to the short-circuit capacity of the a.c. system, based upon the impedance of the network as seen from the line-side terminals of the convertor. Resonance phenomena, which may be caused by the presence of large capacitor banks, may result in uncontrollable changes in d.c. voltage. (This may appear as a voltage rise in a twelve-phase system.)

Also when, as assumed in this recommendation, the r.m.s. value of the line voltage on the a.c. terminals of the convertor is kept constant, the influence of a.c. reactance on wave form causes an additional voltage drop to appear on the d.c. terminals of the convertor.

432.2 *Information to be given for the calculation of the additional direct voltage regulation due to a.c. system impedance*

To enable the supplier to calculate the effect of a.c. system impedance, the user should give the a.c. system data before the order. When the system short-circuit capacity is given for this purpose, the value given must correspond to that configuration of the a.c. system for which the total voltage regulation is to be calculated.

432.2.1 Direct voltage regulation when the resistance and reactance of the a.c. system are known.

The supplier shall indicate the following two values:

The total inherent direct voltage regulation (Sub-clause 431.5) of the convertor.

The total voltage regulation ($U_{diN} + U_{dbN} + U_{dLN}$) of the convertor, when the r.m.s. value of the line-side terminal voltage is kept constant.

432.2.2 Direct voltage regulation when the resistance and reactance of the a.c. system are not given by the user.

The supplier shall indicate the following two values:

The total inherent direct voltage regulation (Sub-clause 431.5) of the convertor.

The total voltage regulation ($U_{diN} + U_{dbN} + U_{dLN}$) of the convertor for constant r.m.s. voltage on its a.c. terminals, assuming some specified finite value of the short-circuit capacity of the a.c. system.

The supplier may, alternatively, draw the user's attention to Figure 8 by which the total voltage regulation can be calculated for any value of the short-circuit capacity of the a.c. system.

432.3 *Calculation of the additional direct voltage regulation U_{dLN} due to a.c. system impedance*

Figure 8 gives the additional direct voltage drop d_{LN} in per cent of U_{di0} at rated direct current, due to a.c. system impedance. The corresponding voltage drop U_{dLN} is:

$$U_{dLN} = \frac{d_{LN} \cdot U_{di0}}{100} \text{ in volts}$$

If not otherwise stated, it is assumed that the r.m.s. value of the line-side terminal voltage of the convertor is kept constant. The inherent delay angle α_p is zero except where values of α_p are indicated.

Symboles utilisés dans la figure 8:

d_{LN}	= chute de tension continue additionnelle, due à l'impédance du réseau à courant alternatif, exprimée en pour cent de la tension continue fictive à vide, pour le courant continu nominal I_{dN} , la tension efficace aux bornes côté réseau alternatif étant maintenue constante
S_m	= puissance de court-circuit en VA du réseau à courant alternatif, basée sur son impédance
U_{di0}	= tension continue fictive à vide, en volts
I_{dN}	= courant continu nominal du convertisseur
d_{xtN}	= chute inductive de tension continue pour le courant continu nominal I_{dN} due au transformateur, en pour cent de la tension continue fictive à vide
d_{xbN}	= chute inductive de tension continue pour le courant continu nominal I_{dN} due à d'autres parties du convertisseur, par exemple bobines d'inductance, etc. (s'il y a lieu), en pour cent de la tension continue fictive à vide
p	= indice de pulsation
α_p	= angle de retard propre

Rapport de la résistance à la réactance du réseau à courant alternatif:

$$= \begin{cases} 0 & \text{-----} \\ 0,2 & \text{-----} \end{cases}$$

Pour se servir des courbes de la figure 8 à d'autres charges qu'à la charge nominale, il faut prendre les valeurs réelles de I_d , d_{xt} et d_{xb} afin d'obtenir la chute réelle d_L qui permet de calculer la variation de tension additionnelle réelle U_{dL} . C'est-à-dire:

$$(d_{xt} + d_{xb}) = (d_{xtN} + d_{xbN}) \frac{I_d}{I_{dN}}$$

432.4 Mesure de la variation de tension continue additionnelle due à l'impédance du réseau à courant alternatif

Un voltmètre sur le côté continu du convertisseur n'indique pas la variation propre de tension (article 431), mais une variation plus grande.

L'influence de l'impédance du réseau à courant alternatif ne peut pas être mesurée directement au moyen d'un voltmètre indiquant la valeur efficace de la tension du côté alternatif.

L'influence de l'impédance du réseau à courant alternatif peut être évaluée par l'examen d'un enregistrement oscillographique de la tension alternative lorsque le convertisseur est en charge.

Pendant que le convertisseur est en service, on peut mesurer la variation de tension continue due à l'impédance du réseau à courant alternatif, avec une approximation suffisante, en utilisant un circuit de mesure spécial qui consiste en un petit redresseur branché (par l'intermédiaire d'un transformateur si c'est nécessaire) sur les bornes côté réseau du convertisseur.

Ce petit redresseur doit avoir le même indice de commutation et le même indice de pulsation que le convertisseur, et l'ondulation de sa tension continue doit avoir la même position relative de phase par rapport à la tension du réseau à courant alternatif que l'ondulation de la tension continue du convertisseur.

Le pourcentage de la variation de tension continue du petit redresseur pendant que la charge du convertisseur varie représente le pourcentage de la variation de la tension continue du convertisseur due à l'impédance du réseau à courant alternatif.

Symbols used in Figure 8:

- $d_{L,N}$ = additional direct voltage drop due to a.c. system impedance, expressed in per cent of the ideal no-load direct voltage, at rated direct current I_{dN} , when the r.m.s. voltage on line-side terminals is kept constant
- S_m = short-circuit capacity of the a.c. system in VA, based on its impedance
- U_{di0} = ideal no-load direct voltage, in volts
- I_{dN} = rated direct current of the convertor
- d_{xtN} = inductive direct voltage drop at rated direct current I_{dN} due to the transformer, in per cent of the ideal no-load d.c. voltage
- d_{xbN} = inductive direct voltage drop at rated direct current I_{dN} due to other parts of the convertor, e.g. reactors, etc., if any, in per cent of the ideal no-load d.c. voltage
- p = pulse number
- α_p = inherent delay angle

Ratio of resistance to reactance of a.c. system:

$$= \begin{cases} 0 & \text{-----} \\ 0.2 & \text{-----} \end{cases}$$

When using the curves of Figure 8 for other loads than rated load, the actual values of I_d , d_{xt} and d_{xb} have to be taken to obtain the actual drop d_L and from this the actual additional regulation U_{dL} . That is:

$$(d_{xt} + d_{xb}) = (d_{xtN} + d_{xbN}) \frac{I_d}{I_{dN}}$$

432.4 Measurement of the additional direct voltage regulation due to a.c. system impedance

A voltmeter on the d.c. side of the convertor does not indicate the inherent voltage regulation (Clause 431) but a larger regulation.

The influence of the a.c. system impedance cannot be measured directly by a voltmeter indicating the r.m.s. value on the a.c. side.

The influence of the a.c. system impedance can be appreciated by examination of an oscillographic record of the a.c. voltage taken when the convertor is on load.

While the convertor is operating, the additional direct voltage regulation due to the a.c. system impedance can be measured with sufficient approximation by a special measuring circuit using a small rectifier connected to the line-side terminals of the convertor, through a transformer, if necessary.

This small rectifier must have the same commutating and pulse number as the convertor, and the ripples of its direct voltage shall have the same relative phase position to the a.c. network voltage as the ripples of the convertor direct voltage.

The per cent change in the output direct voltage of the small rectifier during a change of the convertor load represents the per cent change in the direct voltage of the convertor due to the a.c. system impedance.

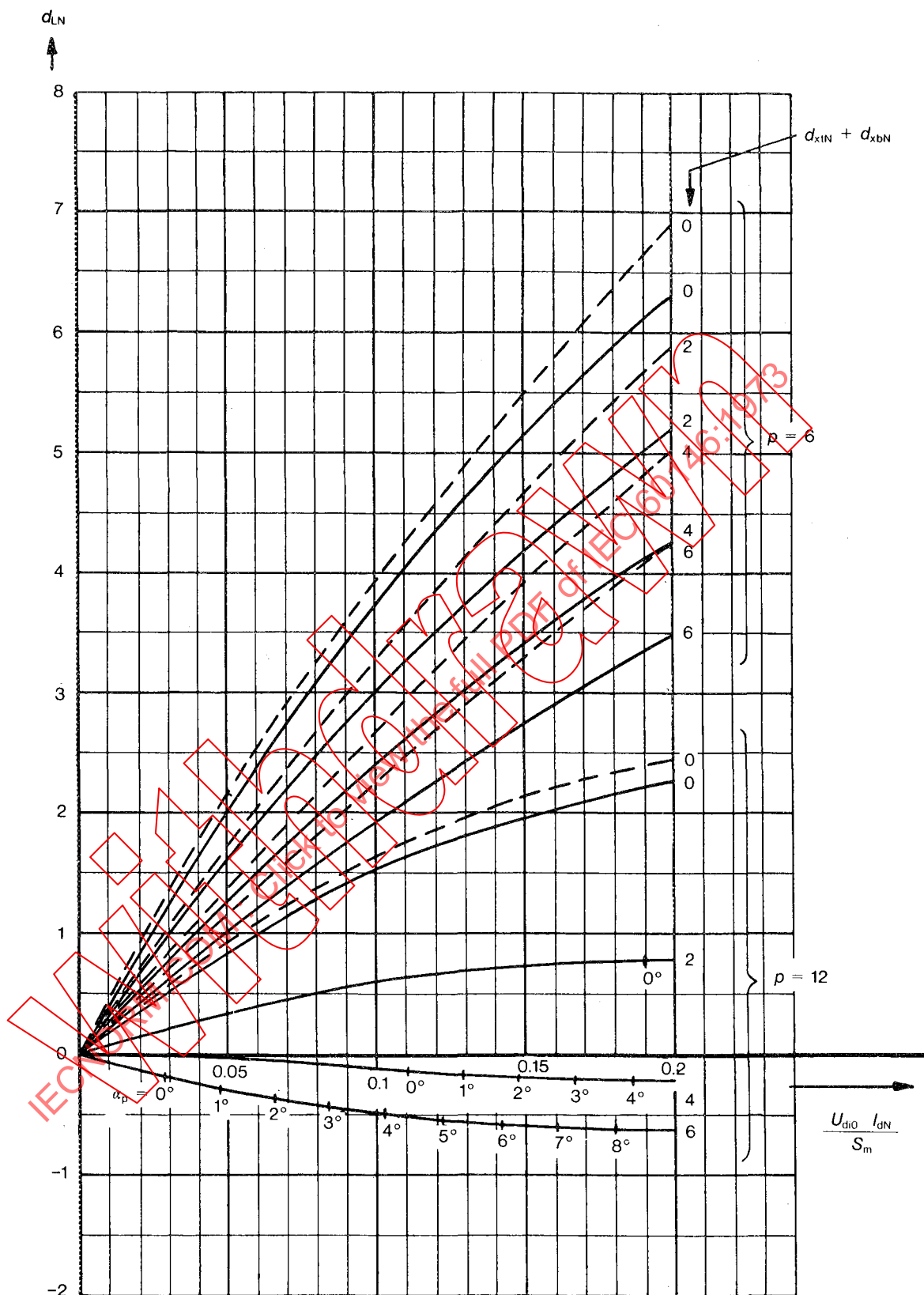


FIGURE 8

– Page blanche –

– Blank page –

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60146:1973

Withdrawn

433. **Influence des convertisseurs existants sur la variation de tension continue d'un nouvel appareil à installer**

Si d'autres convertisseurs sont alimentés par le même réseau à courant alternatif, il peut en résulter pour le nouveau convertisseur à installer une variation de tension supplémentaire. Pour permettre au constructeur de tenir compte de ces conditions, l'utilisateur doit indiquer avant la commande la puissance, le mode de connexion, l'emplacement et les autres caractéristiques principales des convertisseurs existants.

440. **Harmoniques des courants et des tensions et effets associés**

441. **Généralités**

Dans les conditions indiquées ci-dessous, les harmoniques contenus dans le courant en ligne côté alternatif et dans la tension continue du convertisseur sont fonction uniquement des trois quantités suivantes:

L'indice de pulsation p .

L'angle de retard α .

La chute inductive totale de la tension continue due au transformateur de convertisseur, à d'autres parties du convertisseur, par exemple bobines d'inductances, etc., s'il en existe, et au réseau à courant alternatif, pour la charge nominale, c'est-à-dire:

$$d_{xN} = d_{x1N} + d_{x2N} + d_{xLN}$$

Pour cela il est admis:

- une symétrie exacte des tensions côté réseau du transformateur, des bobines d'inductances s'il en existe, des éléments de circuit de convertisseur et de l'équipement de réglage de phase;
- des tensions côté alternatif sinusoïdales;
- un courant continu parfaitement filtré, ce qui implique la présence d'une bobine de réactance infinie dans le circuit à courant continu.

Cependant, les écarts tolérés en pratique (article 131) par rapport à la forme sinusoïdale théorique et à la symétrie des tensions côté alternatif peuvent faire apparaître certains harmoniques dont la valeur théorique devrait être nulle.

Dans les connexions à 12 pulsations, par exemple, de petits harmoniques 5 ou 7 dans la tension côté alternatif peuvent parfois faire apparaître des harmoniques 5 et 7 plus importants dans les courants alternatifs en ligne, et l'harmonique 6 dans la tension continue.

Dans certains modes de couplage apparemment symétriques (par exemple les couplages en fourche), l'asymétrie de la commutation peut également faire apparaître des harmoniques dont la valeur théorique devrait être nulle.

442. **Rang des harmoniques**

442.1 *Rang des harmoniques du courant côté réseau*

Dans le cas idéal, il n'y a que des harmoniques de courant de ligne de fréquence $(kp \pm 1)f_N$ où $k = 1, 2, 3 \dots p$ = indice de pulsation et f_N = fréquence nominale.

Note. — Dans le cas des montages hétérogènes et des convertisseurs à commande séquentielle, le rang des harmoniques de courant côté alternatif ne se limite pas à $(kp \pm 1)f_N$.

433. **Influence of existing convertors on d.c. voltage regulation on new plant to be installed**

If other convertors are fed from the same a.c. system, this may cause an additional voltage drop at the convertor. To enable the supplier to take these conditions into consideration, the user shall indicate prior to ordering the power, connection, location and other main particulars of these other convertors.

440. **Harmonics in currents and voltages and associated effects**

441. **General**

The harmonic content in the a.c. line current and in the direct voltage of the convertor is, subject to the conditions given below, only a function of the following three quantities:

The pulse number p .

The delay angle α .

The actual total inductive direct voltage drop due to the convertor transformer, other parts of the converter, e.g. reactors, etc., if any, and the a.c. system respectively at rated load, namely:

$$d_{xN} = d_{xLN} + d_{xbN} + d_{xLN}$$

This assumes:

- exact symmetry of the line-side voltages of the transformer, of the reactors, if any, of the convertor circuit elements and of the phase control equipment;
- sinusoidal line voltage;
- ideally smooth direct current, i.e. an infinite inductance in the d.c. circuit.

However, the departures from the theoretical sine wave and symmetry of the line voltage, which are permitted in practice (Clause 131), may cause certain harmonics, whose value should theoretically be zero, to appear.

For instance, for 12-pulse connections small 5th or 7th harmonics in the a.c. line voltage may sometimes cause larger 5th and 7th harmonics to appear in the line currents and the 6th harmonic in the direct voltage.

Also, for certain apparently symmetrical connections (e.g. fork connections) asymmetry of commutation may cause harmonics to appear whose value should theoretically be zero.

442. **Order of harmonics**

442.1 *Order of harmonics in line current*

Ideally only harmonics of the frequencies $(kp \pm 1)f_N$ exist in the line currents ($k = 1, 2, 3$ etc.; p = pulse number, f_N = rated frequency).

Note. – For non-uniform thyristor connections and convertors with sequence control, the order of harmonics of the line currents is not restricted to $(kp \pm 1)f_N$.

442.2 *Fréquence des composants d'ondulation de la tension continue*

Dans le cas idéal, il n'y a que des composantes d'ondulation de fréquence $kp f_N$ dans la tension continue du convertisseur.

($k = 1, 2, 3 \dots$; $p =$ indice de pulsation; $f_N =$ fréquence nominale).

Note. — Le rang des harmoniques donnés par les montages hétérogènes et les convertisseurs à commande séquentielle ne se limite pas aux multiples de $p \cdot f_N$.

443. **Harmoniques de courant de ligne**

443.1 Les figures 9, 10, 11 et 12 donnent les valeurs efficaces I_{nN} de chaque harmonique de courant de ligne pour le courant continu nominal, en pourcentage de I_{niN} , qui est la valeur idéale de I_{nN} pour une variation inductive de tension continue nulle. Les symboles utilisés dans les figures sont définis à l'article 445.

Les figures peuvent aussi être utilisées en fonctionnement comme onduleur en remplaçant le paramètre α par l'angle de marge γ ($\gamma = 180 - \alpha - u$; $u =$ angle d'empiètement).

Notes 1. — Les harmoniques pour convertisseurs avec indice de pulsation inférieur à 6 ne sont pas donnés.

2. — On peut déterminer I_n pour un courant continu réel et différent de I_{dN} en utilisant la valeur réelle de d_x au lieu de d_{xN} .

443.2 *Augmentation des harmoniques de courant*

Si plusieurs convertisseurs ou machines sont reliés en parallèle par des lignes aériennes ou des câbles, soit du côté alternatif, soit du côté continu, des courants harmoniques considérables peuvent circuler entre les groupes. Cet inconvénient peut être évité par un choix convenable des couplages respectifs des groupes en parallèle.

Des phénomènes de résonance, qui peuvent être le résultat de la présence de capacités du côté réseau, peuvent donner lieu à une augmentation nuisible des harmoniques du réseau courant alternatif. Cela peut être évité en changeant le circuit de manière qu'il soit hors de la résonance pour tous les indices de pulsation des harmoniques de courant.

444. **Tension d'ondulation du côté continu**

444.1 Les figures 13, 14, 15, 16 et 17 donnent la valeur efficace de U_{nN} de chaque composante d'ondulation dans la tension continue pour le courant continu nominal en pourcentage de U_{di0} . Les définitions des symboles utilisés dans les figures sont données à l'article 445.

Les figures peuvent aussi être utilisées pour le fonctionnement en onduleur en remplaçant le paramètre α par l'angle de marge γ ($\gamma = 180 - \alpha - u$; $u =$ l'angle d'empiètement).

Notes 1. — Les tensions d'ondulation pour convertisseurs avec indice de pulsation inférieur à 6 ne sont pas donnés.

2. — On peut déterminer U_n pour un courant continu réel et différent de I_{dN} en utilisant la valeur réelle de d_x au lieu de d_{xN} .

444.2 *Tension d'ondulation efficace U_o du côté continu*

$U_o = \sqrt{\sum U_n^2}$ avec

$U_n =$ valeur efficace de la composante de tension d'ondulation de rang n de la tension continue

$U_o =$ peut être mesuré à l'aide d'un voltmètre à courant alternatif, indiquant la valeur efficace, branché entre les bornes à courant continu en série avec un condensateur de capacité suffisante

444.3 *Taux d'ondulation de la tension côté continu*

égal à $\frac{U_o}{U_{d1}}$

$U_{d1} =$ tension continue nominale du convertisseur.

442.2 *Frequency of ripple voltage components superimposed on direct voltage*

Ideally only ripple voltage components of the frequencies $kp f_N$ exist in the direct voltage of a convertor.

($k = 1, 2, 3$ etc.; $p =$ pulse number, $f_N =$ rated frequency).

Note. - For non-uniform thyristor connections and convertors with sequence control, the order of harmonics is not restricted to multiples of $p \cdot f_N$.

443. **Harmonics in line current**

443.1 Figures 9, 10, 11 and 12 give the r.m.s. values I_{nN} of each harmonic in the line current at rated direct current in per cent of I_{diN} which is the ideal value of I_{nN} for a zero inductive direct voltage drop. The symbols used in the figures are defined in Clause 445.

The figures can be used also in inverter operation by replacing the parameter α by the margin angle γ ($\gamma = 180 - \alpha - u$; $u =$ angle of overlap).

Notes 1. - Harmonics for convertors with pulse number less than 6 are not given.

2. - Determination of I_n at an actual direct current different from I_{dN} can be done by using the actual value of d_x instead of d_{xN} .

443.2 *Increase of harmonic currents*

If several convertors or machines are connected in parallel through overhead lines or cables, either on the a.c. side or on the d.c. side, considerable harmonic currents may circulate between the units. This may be obviated by a suitable choice of the respective connections of the convertors working in parallel.

Resonance phenomena, which may be caused by the presence of capacitors on the line side, may cause harmful increase of harmonics in the a.c. system. This may be avoided by rearranging the circuit to be out of resonance for all possible numbers of current harmonics.

444. **Ripple voltage on the d.c. side**

444.1 Figures 13, 14, 15, 16 and 17 give the r.m.s. value U_{nN} of each ripple voltage component in the direct voltage at rated direct current in per cent of U_{di0} . Definitions of symbols used in the figures are given in Clause 445.

The figures can be used also in inverter operation by replacing the parameter α by the margin angle γ ($\gamma = 180 - \alpha - u$; $u =$ angle of overlap).

Notes 1. - Ripple voltages for convertors with pulse number less than 6 are not given.

2. - Determination of U_n at an actual direct current different from I_{dN} can be done by using the actual value of d_x instead of d_{xN} .

444.2 *r.m.s. Ripple voltage U_σ on d.c. side*

$U_\sigma = \sqrt{\sum U_n^2}$ where:

$U_n =$ r.m.s. value of ripple voltage component of order n

$U_\sigma =$ can be measured by an a.c. voltmeter indicating r.m.s. value, connected between d.c. terminals, in series with a capacitor of sufficiently large capacitance

444.3 *r.m.s. Ripple voltage ratio*

This is $\frac{U_\sigma}{U_{d1}}$

$U_{d1} =$ rated direct voltage of convertor.

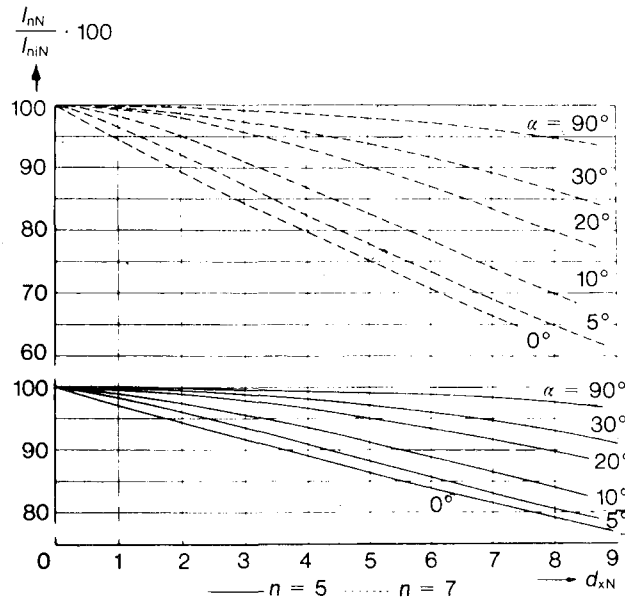


FIGURE 9

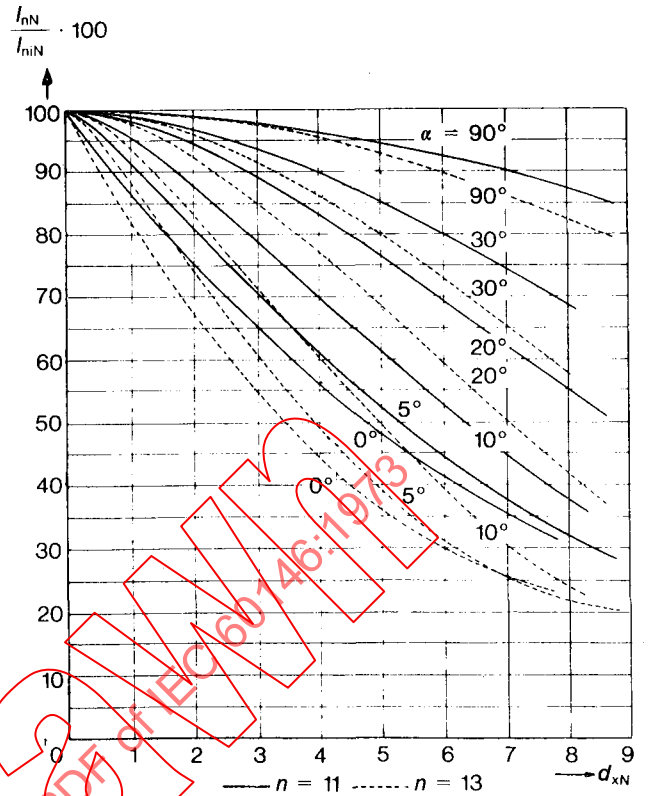


FIGURE 10

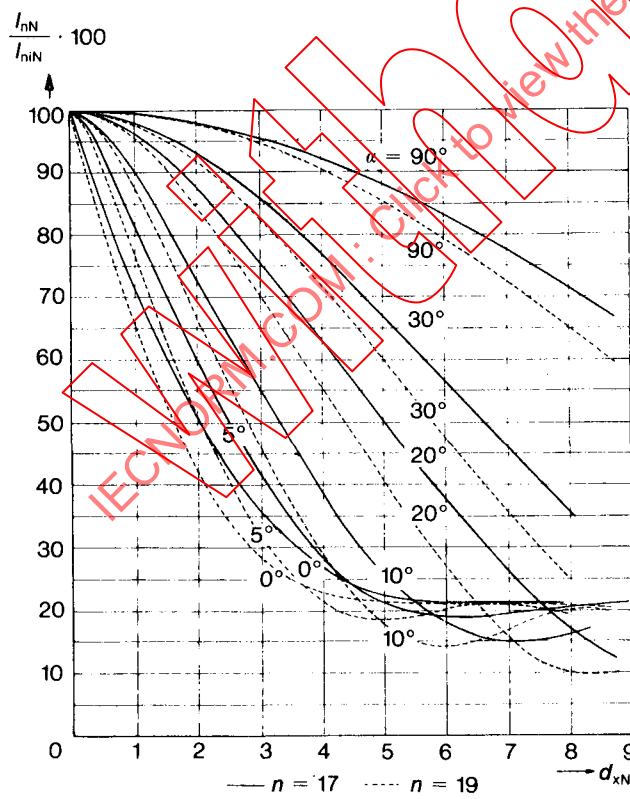


FIGURE 11

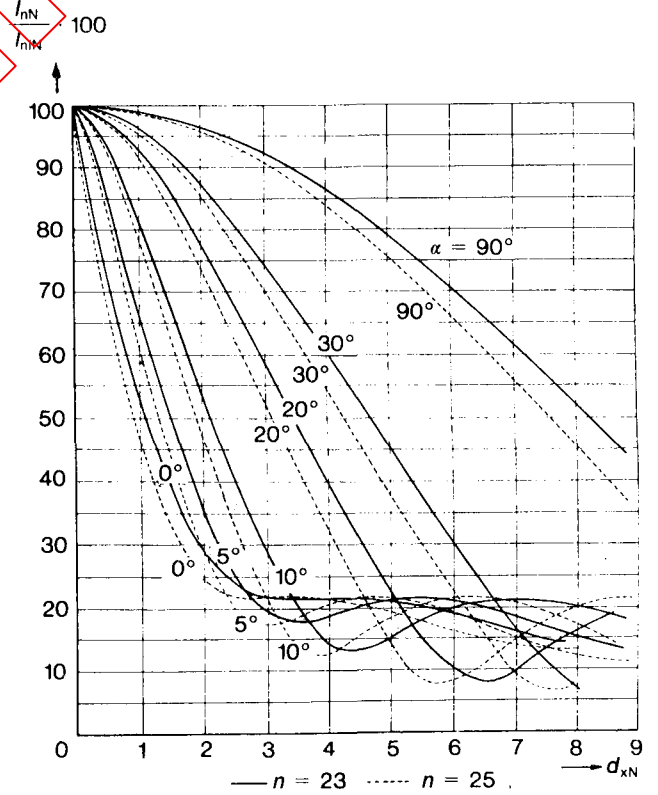


FIGURE 12

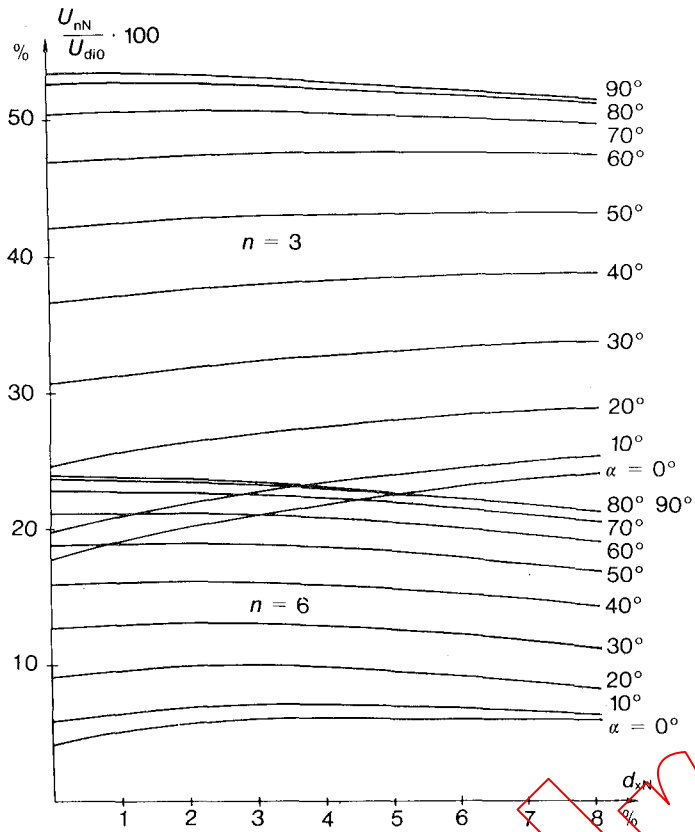


FIGURE 13

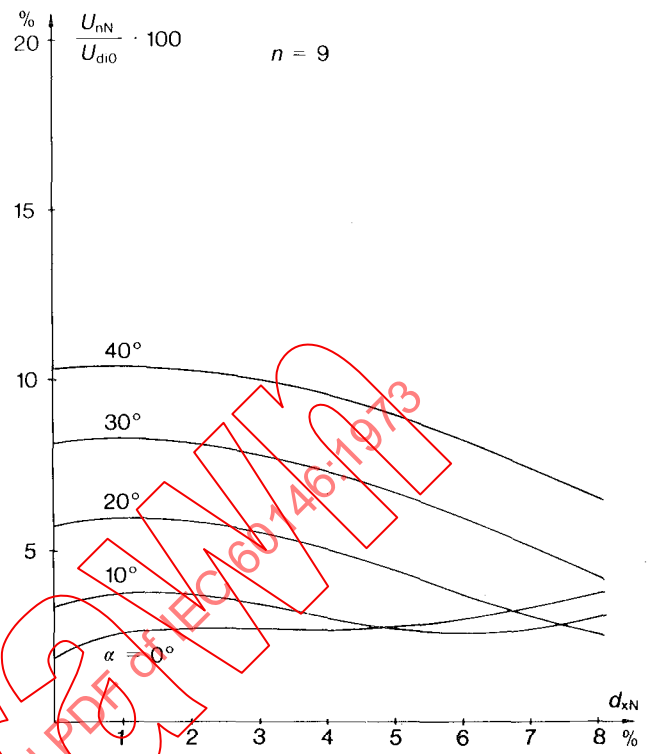


FIGURE 14

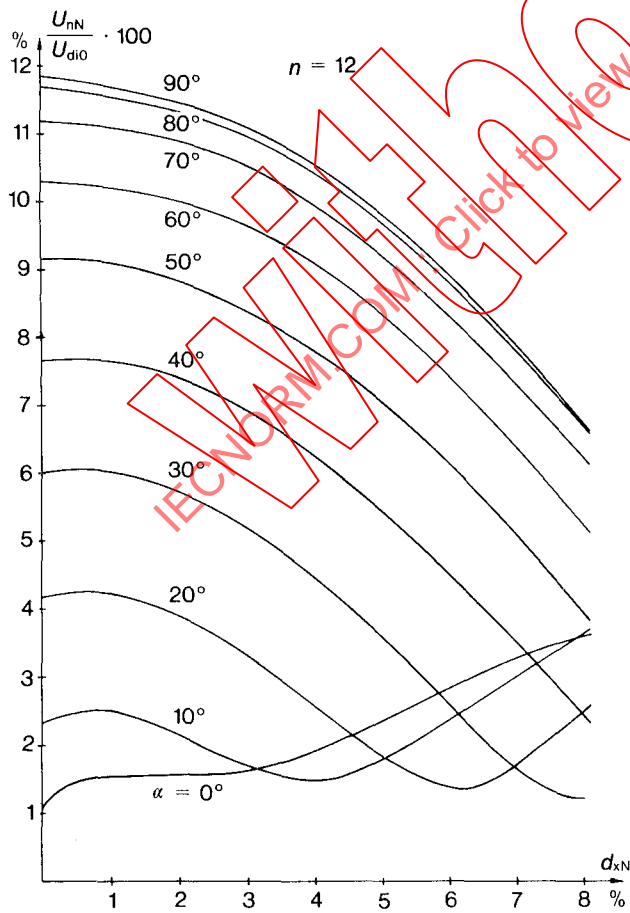


FIGURE 15

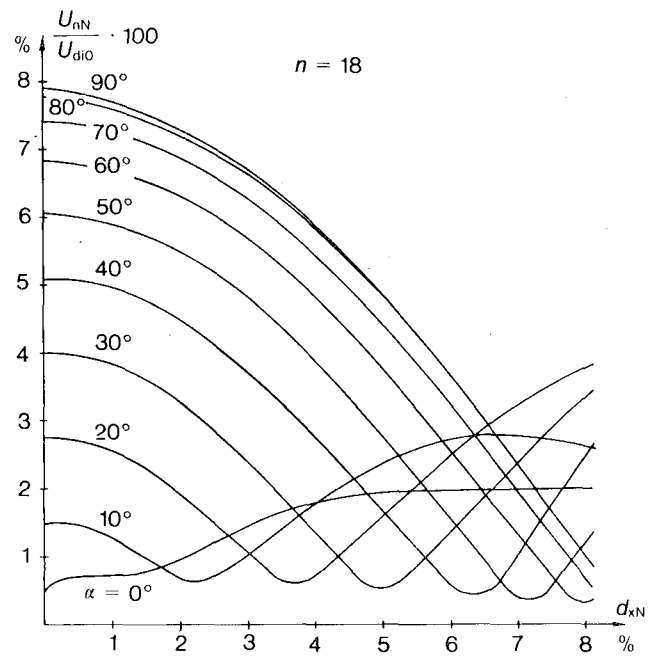


FIGURE 16

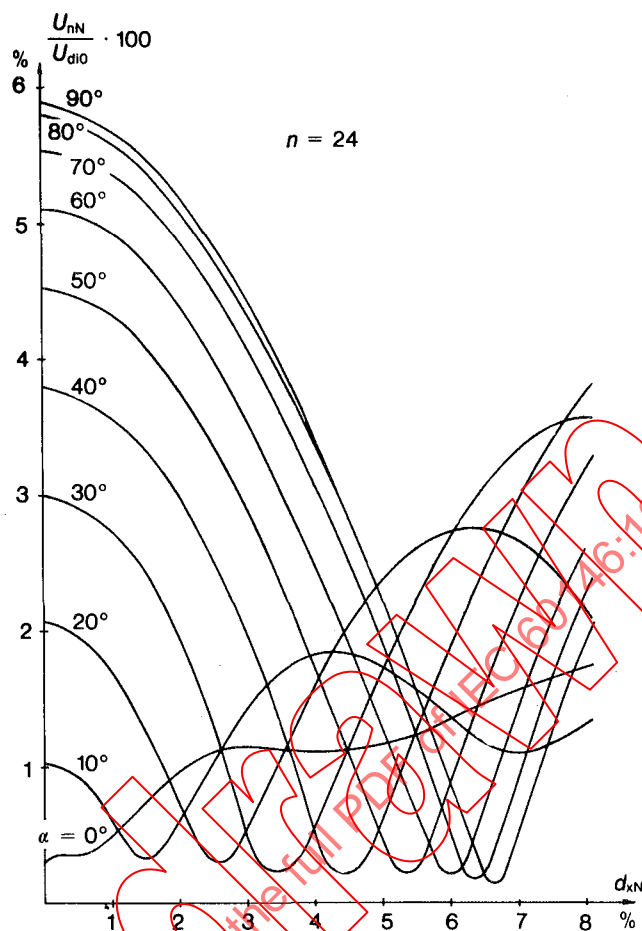


FIGURE 17

444.4 Facteurs téléphoniques du C.C.I.T.T.* et du EEI-BTS**

Facteur téléphonique de forme K' du C.C.I.T.T.:

$$K' = \frac{1}{U_{d1}} \cdot \frac{1}{p'_{800}} \sqrt{\sum (k_f p'_f U_f)^2}$$

Facteur d'influence téléphonique TIF du EEI-BTS:

$$TIF = \frac{1}{U_{d1}} \sqrt{\sum (p''_f U_f)^2}$$

U_f = valeur efficace de l'harmonique de fréquence f de la tension continue

f = nf_N

n = rang de l'harmonique de fréquence f

f_N = fréquence nominale

k_f = facteur du C.C.I.T.T., fonction de la fréquence, tenant compte du mode de couplage des lignes intéressées ainsi que des conditions de service de la ligne industrielle. Par convention $k_{800} = 1$

p'_f = poids attribué à la fréquence f dans le tableau des poids du C.C.I.T.T.

p''_f = poids attribué à la fréquence f dans la courbe des poids du EEI-BTS

* C.C.I.T.T.: Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique. Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes industrielles (Edition 63, page 11).

** EEI-BTS: Joint Sub-Committee on Development and Research, Edison Electric Institute and Bell Telephone System. Inductive Co-ordination Aspects of Rectifier Installations, Figure 17 (AIEE Transactions, volume 65, July 1946, page 417).

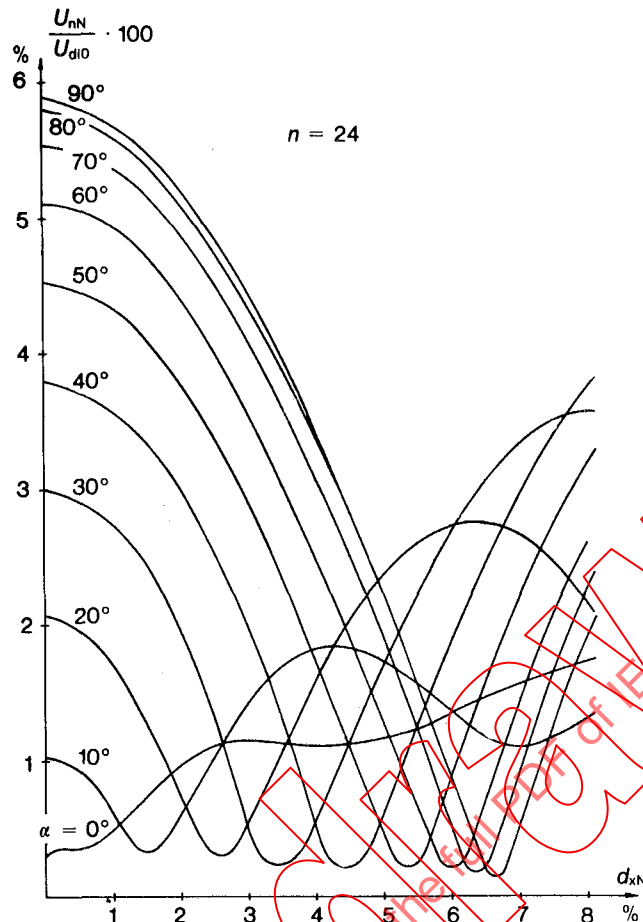


FIGURE 17

444.4 Telephone factors of C.C.I.T.T.* and EEI-BTS**

Telephone form factor K of C.C.I.T.T.:

$$K = \frac{1}{U_{d1}} \cdot \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (k_f p_f' U_f)^2}$$

Telephone interference factor TIF of EEI-BTS:

$$TIF = \frac{1}{U_{d1}} \sqrt{\sum p_f'' U_f^2}$$

U_f = r.m.s. value of direct voltage harmonic of frequency f

$f = n f_N$

n = order of harmonic of frequency f

f_N = rated frequency

k_f = the factor of C.C.I.T.T., which is a function of the frequency, considering the coupling between the power circuit and the light (weak) current line and the service conditions of the power circuit. By convention $k_{800} = 1$

p_f' = the weight given to the frequency f in the weighting table of C.C.I.T.T.

p_f'' = the weight given to the frequency f in the weighting curve of EEI-BTS.

* C.C.I.T.T.: International Telephone and Telegraph Consultative Committee. Directives concerning the protection of telecommunication lines against the adverse effects of electric power lines (Edition 63, page 11).

** EEI-BTS: Joint Sub-Committee on Development and Research, Edison Electric Institute and Bell Telephone System. Inductive Co-ordination Aspects of Rectifier Installations, Figure 17 (AIEE Transactions, volume 65, July 1946, page 417).

444.5 Correcteur d'ondulation du côté continu

444.5.1 Facteur d'efficacité F_n du correcteur d'ondulation pour un harmonique d'ordre n

$$F_n = \frac{U'_n}{U''_n} \text{ avec}$$

U'_n = valeur de U_n sans correcteur d'ondulation

U''_n = valeur de U_n avec correcteur d'ondulation

Note. – Les valeurs de U'_n et U''_n ne dépendent pas seulement des caractéristiques du correcteur d'ondulation, mais aussi du rapport de l'inductance du circuit à courant continu à l'inductance du transformateur du convertisseur rapportée au circuit à courant continu. Pour cette raison, il faut indiquer l'inductance du circuit à courant continu, ou à défaut, il est supposé que le rapport indiqué ci-dessus est au moins égal à 10.

444.5.2 Efficacité du correcteur d'ondulation du côté continu

Le but du correcteur d'ondulation est de diminuer l'amplitude des harmoniques du côté continu du convertisseur. L'efficacité du correcteur d'ondulation s'exprime, suivant le cas, par le facteur téléphonique spécifié ou par le facteur d'efficacité pour des fréquences spécifiées.

L'efficacité du correcteur d'ondulation dépend des constantes des circuits du filtre aussi bien que des caractéristiques du réseau à courant continu et de la nature de la charge. On peut actuellement réaliser des correcteurs d'ondulation de très grande efficacité et répondre à toute condition particulière, mais le matériel nécessaire et la complexité des appareils croissent rapidement avec l'efficacité.

La pleine efficacité du correcteur d'ondulation n'est normalement atteinte que pour une bande étroite de la fréquence du réseau à courant alternatif. Les correcteurs d'ondulation efficaces dans une bande de fréquence plus large sont plus coûteux. Avant de commander un correcteur d'ondulation, l'utilisateur doit indiquer les écarts maximaux par rapport à la fréquence nominale qui peuvent se produire en service. A défaut de cette indication, il est supposé que l'écart maximal est de $\pm 1\%$ de la fréquence nominale.

Si une garantie est demandée par l'utilisateur pour des facteurs d'efficacité à la fréquence nominale $\pm 1\%$, le facteur garanti est déterminé par le calcul sur la base des valeurs de la résistance, de l'inductance et de la capacité des éléments du correcteur d'ondulation. La résistance de chaque élément est mesurée à sa fréquence nominale.

445. Symboles utilisés dans les figures 9 à 17

I_{nN} = valeur efficace de l'harmonique de courant de rang n en pour cent de I_{nN}

I_{niN} = valeur efficace idéale de I_{nN} pour $d_{xN} = 0$

$I_{niN} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{U_{di0} \cdot I_{dN}}{\sqrt{3} \cdot U_{LN}} \right\}$ où le terme entre parenthèses représente la valeur efficace de la fondamentale pour $d_{xN} = 0$

U_{di0} = tension continue fictive à vide

I_{dN} = courant continu nominal du convertisseur

U_{LN} = tension nominale côté réseau

U_{nN} = valeur efficace de l'harmonique de rang n de la tension continue en pour cent de U_{di0}

d_{xN} = chute inductive totale de tension continue pour le courant continu nominal I_{dN} en pour cent de U_{di0}

$d_{xN} = d_{x1N} + d_{xbN} + d_{xLN}$ avec:

d_{x1N} = chute inductive de tension continue pour le courant continu nominal due au transformateur en pour cent de U_{di0}

444.5 Wave filter on d.c. side

444.5.1 Smoothing factor F_n of wave filter for a harmonic of order n

$$F_n = \frac{U_n'}{U_n''} \text{ where}$$

U_n' = value of U_n without wave filter

U_n'' = value of U_n with wave filter

Note. — The values of U_n' and U_n'' depend not only on the characteristics of the wave filter, but also on the ratio of the inductance of the d.c. circuit to the inductance of the convertor transformer referred to the d.c. circuit. Therefore the inductance of the d.c. circuit should be indicated; failing this, it is assumed that the above ratio is at least equal to 10.

444.5.2 Smoothing factor of wave filter on d.c. side

The purpose of the wave filter is to reduce the amplitudes of the harmonics on the d.c. side of the convertor. The smoothing factor of the wave filter is expressed, as the case may be, by the specified telephone factor or by the smoothing factor for specified frequencies.

The smoothing factor of a wave filter depends on the characteristics of the filter circuits and the d.c. network as well as on the nature of the load. Any desired smoothing factor may be achieved to meet any particular condition, but the amount of material and complexity increase rapidly with increase of smoothing factor.

The smoothing factor of a wave filter normally holds only for a narrow band of the frequency of the a.c. supply system. Wave filters for a larger frequency band are more expensive. Before ordering wave filters, the user shall indicate the maximum departures from rated frequency which will occur in service. Failing such indication, the maximum departure shall be assumed to be $\pm 1\%$ of rated frequency.

If the user asks for a guarantee for smoothing factors at rated frequency $\pm 1\%$, the factor guaranteed shall be determined by calculation based on the resistance, inductance and capacitance of the components of the wave filter. The resistance of each component shall be measured at its rated frequency.

445. Symbols used in Figures 9 to 17

I_{nN} = r.m.s. value of current harmonic of order n , in per cent of I_{niN}

I_{niN} = ideal r.m.s. value of I_{nN} when $d_{xN} = 0$

$I_{niN} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{U_{di0} \cdot I_{dN}}{\sqrt{3} \cdot U_{LN}} \right\}$ where the term in brackets represents the r.m.s. value of the fundamental, when $d_{xN} = 0$

U_{di0} = ideal no-load direct voltage

I_{dN} = rated direct current of the convertor

U_{LN} = rated voltage on line side

U_{nN} = r.m.s. value of direct voltage harmonic of order n , in per cent of U_{di0}

d_{xN} = total inductive direct voltage drop at rated direct current I_{dN} in per cent of U_{di0}

$d_{xN} = d_{xtN} + d_{xbN} + d_{xLN}$ where:

d_{xtN} = inductive direct voltage drop at rated direct current due to the transformer, in per cent of U_{di0}

- d_{xbN} = chute inductive de tension continue pour le courant continu nominal due à d'autres parties du convertisseur, par exemple bobines d'inductance, etc. (s'il y a lieu), en pour cent de U_{di0}
- d_{xLN} = chute inductive de tension continue pour le courant continu nominal due à la réactance du réseau à courant alternatif en pour cent de U_{di0} (figure 8 en utilisant les courbes en trait plein)
- α = angle de retard
- n = rang des harmoniques

446. **Composantes de courant alternatif dans un circuit d'utilisation à courant continu de faible impédance en courant alternatif (charge capacitive)**

Dans un circuit d'utilisation à courant continu inductif, les composantes de courant alternatif sont assez petites pour ne pas agir sensiblement sur les conditions de travail du convertisseur.

Si l'impédance en courant alternatif du circuit à courant continu est petite, d'importantes composantes de courant alternatif peuvent y circuler. Ce fait devrait être pris en considération dans la mesure où il est susceptible d'affecter les conditions de travail du convertisseur ou celles du circuit d'utilisation. Cela est particulièrement vrai si le convertisseur a un indice de pulsation plus petit que 6 et s'il débite sur une f.c.é.m.

447. **Courants alternatifs de circulation dans les convertisseurs doubles**

Les courants alternatifs de circulation des convertisseurs doubles peuvent affecter leurs conditions de travail et être la cause de pertes additionnelles. Ils peuvent être supprimés par des moyens appropriés (voir aussi l'article 676). S'ils ne sont pas supprimés, on doit en tenir compte dans l'étude du convertisseur.

448. **Perturbations d'installations à courant faible**

448.1 **Généralités**

448.1.1 Une perturbation d'une installation à courant faible est possible par rayonnement ou par conduction lorsque deux au moins des trois facteurs suivants se trouvent réunis:

- une tension ou un courant perturbateur suffisants dans le système à courant fort côté alternatif ou côté continu;
- un couplage suffisant entre l'installation perturbatrice à courant fort et l'installation perturbée à courant faible;
- une sensibilité suffisante de l'installation perturbée à courant faible.

448.1.2 L'expérience montre que les problèmes concernant des perturbations ne sont pas fréquents. A l'exception des cas où l'utilisateur a des raisons d'admettre qu'un problème existe, aucune action n'est entreprise pour étudier le problème des perturbations, à moins que l'on ne trouve qu'un tel problème existe après que le convertisseur est installé. Dans ce dernier cas, le fournisseur, l'utilisateur et un représentant de l'installation à courant faible étudient le problème ensemble pour déterminer l'action correctrice à entreprendre. Dans tous les cas où des filtres d'harmoniques sont nécessaires, ceux-ci seront considérés comme un élément séparé du convertisseur.

- d_{xbN} = inductive direct voltage drop at rated direct current due to other parts of the convertor, e.g. reactors, etc., if any, in per cent of U_{dio}
- d_{xLN} = inductive direct voltage drop at rated direct current due to the reactance of the a.c. system, in per cent of U_{dio} (Figure 8 using the continuous line curves)
- α = delay angle
- n = order of harmonic

446. **Alternating current components in d.c. load with low a.c. impedance (capacitive load)**

In an inductive d.c. load, the alternating current components are so low that they do not significantly influence the operation of the convertor.

If the d.c. load has a low a.c. impedance, large alternating current components may circulate in the d.c. circuit. This should be considered as they may affect the operation of the convertor and may also affect the operation of the load. This is especially true for convertors with pulse numbers lower than 6 and for back-e.m.f. load.

447. **Circulating alternating currents in double convertors**

Circulating alternating currents in double convertors may affect the operation of the convertors and cause additional losses. They may be suppressed by suitable means (see also Clause 676). If they are not suppressed, allowance shall be made for them in the design of the convertor.

448. **Interference with light (weak) current installations**

448.1 *General*

448.1.1 Interference with a light (weak) current installation may be brought about by radiation or by conduction when at least two of the following three factors are combined:

- a sufficient interfering current or voltage on the a.c. or d.c. power system;
- a sufficient coupling between the interfering power system and the affected light (weak) current system;
- a sufficient sensitivity of the affected light (weak) current system.

448.1.2 Experience indicates that interference problems occur infrequently. Except in cases where the user has reason to believe that a problem exists, no action is taken to study the interference problem unless this problem is found to exist after installation of the convertor. When this happens, the supplier, user and representative of the light (weak) current installation will jointly study the problem to determine the corrective action to be taken. In all cases, if wave filters are required, they will be negotiated as a separate item from the convertor.

448.1.3 Mesures à prendre avant la commande du convertisseur

Pour permettre de se rendre compte des possibilités de perturbations, il est nécessaire de fournir les indications suivantes:

- a) Un plan de situation indiquant la position relative des systèmes à courant fort et à courant faible existants ou prévus, ainsi que les hauteurs des conducteurs, leurs positions relatives et la symétrie des circuits par rapport à la terre;
- b) Les données électriques des circuits à courant fort, y compris les impédances (tensions de court-circuit) des transformateurs alimentant ce système;
- c) Les données électriques du système à courant faible ou, dans le cas des réceptions de radiodiffusion, l'intensité de champ de l'émetteur régional dans la zone d'action du convertisseur;
- d) Un plan de croisement des lignes aériennes;
- e) Les trois cas suivants sont à distinguer suivant la nature des renseignements indiqués ci-dessus:
 - il est probable qu'il n'y aura pas de perturbation;
 - il n'est pas certain qu'il y aura perturbation;
 - il faut supposer qu'il y aura perturbation.

448.1.4 Mesures à prendre après la mise en service du convertisseur

Si l'on constate une perturbation de l'installation à courant faible du fait du convertisseur, les moyens les plus indiqués pour y remédier peuvent être déterminés en partant de mesures électriques faites sur place.

448.1.5 Moyens d'éviter ou d'éliminer les perturbations

Suivant le genre et l'importance de l'installation à courant fort et de l'installation à courant faible, des mesures pour remédier aux perturbations peuvent être prises soit seulement du côté courant fort, soit seulement du côté courant faible, soit encore des deux côtés à la fois. Il est recommandé d'examiner dans chaque cas particulier de quel côté les perturbations peuvent être éliminées avec le minimum de dépenses.

448.2 Limites de perturbation

Pour des recommandations au sujet des perturbations des lignes téléphoniques, référence est faite aux publications du C.C.I.T.T. et EEI-BTS mentionnées dans le paragraphe 444.4.

Pour des recommandations au sujet des perturbations radioélectriques, référence est faite aux publications du CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), par exemple Publications N° 1 (1961), N° 1A (1966), N° 2 (1961), N° 2A (1966), N° 7 (1966) et N° 9 (1966).

450 Protection

La faible valeur de la constante de temps thermique, provenant de la petite capacité thermique des thyristors et des diodes et de la densité de courant élevée à laquelle ils travaillent, réclame qu'on apporte une attention particulière à l'étude des dispositifs de protection contre les courants de défaut.

La faible constante de temps électrique provenant de la petite capacité électrique des thyristors et des diodes, ainsi que la contrainte diélectrique élevée avec laquelle ils travaillent, demande une attention particulière dans l'étude des dispositifs de protection contre les surtensions. En abordant cette étude, on devra porter attention aux particularités des perturbations et des surcharges à envisager au lieu d'installation. Elle dépendra aussi du genre de service demandé, du réseau d'alimentation, de la commande et du réseau d'utilisation, etc.

En déterminant l'objet, les propriétés et les principes de ce matériel, on doit utiliser la terminologie définie aux paragraphes suivants.

448.1.3 *Investigations prior to ordering of a convertor*

To make it possible to estimate whether interference is to be expected, the following information is required:

- a) a plan indicating the relative positions of the existing or anticipated heavy current and light (weak) current systems, including the height and relative positions of the conductors and the symmetry of these circuits with respect to earth;
- b) the electrical data of the heavy current network, including the impedances (short-circuit voltages) of the transformers feeding that network;
- c) the electrical data of the light (weak) current system; or, in the case of broadcasting reception, the field strength of the regional transmitter in the zone of action of the convertor;
- d) a crossing plan of the overhead lines;
- e) the three following cases have to be distinguished, depending on the nature of the above-mentioned information:
 - it is probable that no interference will arise;
 - it is not certain whether interference will arise;
 - it is expected that interference will arise.

448.1.4 *Investigations after the convertor is set to work*

If interference between the convertor plant and the light (weak) current system is observed, the most suitable means for avoiding interference can be determined by electrical measurements on site.

448.1.5 *Means of avoiding or eliminating interference*

Depending upon the nature and extent of the heavy current and light (weak) current system, steps to avoid interference can be taken either on the heavy current system alone or on the light (weak) current system alone or on both systems together. It is advisable to investigate for each particular case on which system the interference can be suppressed at the lowest expense.

448.2 *Interference limits*

For recommendations regarding interference with telephone lines, reference is made to the publications of C.C.I.T.T. and E.E.I.-BTS mentioned in Sub-clause 444.4.

For recommendations regarding radio interference, reference is made to the publications of C.I.S.P.R. (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), e.g. Publications No. 1 (1961), No. 1A (1966), No. 2 (1961), No. 2A (1966), No. 7 (1966) and No. 9 (1966).

450. **Protection**

The short thermal time constant caused by low thermal capacity and the high current density of thyristors and diodes require a special approach in the design of the fault current protective system.

The short electrical time constant caused by small capacitance and the high dielectric stress in thyristors and diodes requires a special approach in the design of the overvoltage protective system. In this approach, the character of the disturbances and overloads to be expected at the place of use have to be taken into account. The kind of service, the connected networks, the control and load and so forth, are also contributing factors.

For determining the purpose, properties and principles of protective equipment, the terminology of the following clauses should be used.

451. **Protection des courants de défaut**

L'étude de la protection contre les surintensités se base sur la faible constante de temps thermique des thyristors et des diodes, qui peut être de l'ordre de grandeur de quelques millisecondes. La protection peut être réalisée suivant un ou plusieurs des trois principes:

- a) déclassement des dispositifs à semiconducteur utilisés;
- b) dispositifs de limitation de la durée;
- c) dispositifs de limitation de courant.

Les moyens à utiliser pour mettre la protection en œuvre dépendent du genre des perturbations prévues, du processus de remise en service désiré, de l'évaluation économique de la sécurité, du prix de l'appareillage de protection, etc.

Le fournisseur devra spécifier quels sont les genres de courants de défaut pour lesquels il prévoit la protection.

En ce qui concerne la protection des convertisseurs à semi-conducteurs contre les surintensités, on définit les catégories de défauts suivantes:

451.1 *Court-circuit interne*

Court-circuit provoqué par un défaut du convertisseur (article 124).

Note. — Un court-circuit interne peut être alimenté à la fois côté alternatif et côté continu, par exemple dans le cas d'une charge constituée par une batterie ou un moteur à courant continu, ou d'un montage de convertisseur double lorsque le convertisseur fonctionne en onduleur, etc.

451.2 *Court-circuit externe côté continu*

Court-circuit du réseau continu en dehors du convertisseur.

Le court-circuit externe peut demander divers systèmes de protection suivant sa nature.

Un court-circuit franc se produit lorsque l'impédance du court-circuit est négligeable vis-à-vis de l'impédance interne du groupe convertisseur à thyristors.

On a affaire à un court-circuit limité lorsque l'impédance du court-circuit est assez grande pour limiter le courant de défaut.

Un court-circuit de dérivation est un court-circuit dans un circuit dérivé du réseau dont le dispositif de protection propre a une puissance de coupure bien inférieure à la puissance de court-circuit du convertisseur.

452. **Protection contre les surtensions**

On peut détériorer un thyristor ou une diode en leur appliquant, même pendant un temps très court de l'ordre d'une fraction de microseconde, une tension inverse ou une tension de blocage qui dépasse leurs possibilités. Il faut donc tenir compte de la nécessité de coordonner la protection contre les surtensions et les possibilités de tenue en tension des composants utilisés.

Les moyens à employer pour la protection des convertisseurs dépendent des surtensions prévues en service et doivent faire l'objet de discussions entre fournisseur et utilisateur en établissant le contrat. Sur demande, le constructeur doit spécifier l'amplitude et la durée des surtensions d'origine externe (paragraphe 452.2) que son matériel peut supporter aux bornes, pour les propriétés d'impédance spécifiées du réseau auquel il est raccordé.

En ce qui concerne la protection des convertisseurs contre les surtensions, on définit les catégories de surtensions suivantes:

452.1 *Surtensions d'origine interne*

Surtensions provenant de sources internes du convertisseur, trouvant leur origine, par exemple, dans des coupures de fusibles, dans le phénomène de recombinaison des porteurs de charges, etc. Les surtensions d'origine interne dépendent essentiellement de l'étude des circuits faite par le constructeur.

451. **Fault current protection**

The protective system against overcurrent must be based upon the short thermal time constant of thyristors and diodes, which can be of the order of milliseconds. It can be based on one of three different principles or a combination of some of them:

- a) derating of the semiconductor devices used;
- b) time limiting devices;
- c) current limiting devices.

The means to be used for the protection of the convertor depends upon the anticipated kinds of disturbances, the method to be used to put the equipment back into service, economical evaluation of the safety, the cost of protective gear, etc. The supplier shall specify for what kinds of faults the current protection is designed.

With regard to over-current protection for convertors, the following kinds of faults are recognized:

451.1 *Internal short-circuit*

A short-circuit caused by convertor faults (Clause 124).

Note. — An internal short-circuit may be fed from both a.c. and d.c. circuit, e.g. in the cases of battery or d.c. motor load, in double convertor connection, when a convertor is operating as inverter, etc.

451.2 *External d.c. short-circuit*

A short-circuit on the d.c. side outside the convertor.

External short-circuit may require different protecting means depending on the character of the short-circuit.

Complete d.c. short-circuit occurs when the short-circuit impedance is negligible compared to internal impedance of the convertor.

Limited d.c. short-circuit occurs when the short-circuit impedance is large enough to limit the fault current.

Branch d.c. short-circuit is a short-circuit in a d.c. load branch with a separate protective device with much lower rating than the feeding convertor.

452. **Overvoltage protection**

Diodes and thyristors may fail if the reverse blocking or off-state voltage applied to them, even for a very short time in the order of a fraction of a micro-second, exceeds their voltage capabilities. Attention is therefore directed to the need for co-ordination of the surge voltage protection and voltage capabilities of the semiconductor devices used.

The means to be used for the protection of the convertor depends on anticipated voltage surges in service and should be the subject for discussions between supplier and user when making the contract. The supplier shall on request state the magnitude and duration of external voltage surges (Sub-clause 452.2) which his equipment can withstand at the terminals for specified impedance properties of the connected networks.

With regard to overvoltage protection for convertors, the following kinds of overvoltages are recognized:

452.1 *Internal voltage surge*

Voltage surge caused by sources within a convertor originating for instance from blowing fuses, hole storage recovery phenomena, etc. Internal voltage surges are essentially under control of the circuit designer.

452.2 *Surintensions d'origine externe*

Surintensions provenant de sources extérieures au convertisseur et qui se manifestent à ses bornes, soit côté continu, soit côté alternatif.

Les surintensions d'origine externe peuvent provenir, par exemple, de phénomènes atmosphériques, de coupures de disjoncteurs, etc.

460. **Valeurs nominales des groupes et blocs convertisseurs**

461. **Généralités**

Les valeurs nominales d'un convertisseur doivent être reliées le mieux possible aux conditions de charge.

En fixant les surcharges qu'un équipement est capable de supporter, on ne doit pas perdre de vue que les surcharges qui satisferaient à un service particulier peuvent ne pas satisfaire nécessairement aux caractéristiques naturelles de surcharge du bloc ainsi qu'à celles du transformateur et des auxiliaires.

La constante de temps du transformateur est grande et la valeur efficace du courant du cycle de travail détermine ses dimensions.

Les diagrammes de charge prévus avec les valeurs de pointes, leur durée et leur fréquence de répétition sont importants dans la détermination des dimensions du bloc.

Le choix d'un convertisseur simple ou double a une influence sur les valeurs nominales du bloc à thyristors.

Des entraînements pour moteurs à vitesse variable tels que ceux utilisés pour le laminage, dans la fabrication du papier ou les ascenseurs de mines, etc., exigent une étude spéciale. Des recommandations seront données dans une future publication de la CEI.

462. **Tension continue nominale**

La tension continue nominale est la valeur de la tension en fonctionnement permanent définie par le fournisseur.

Souvent un convertisseur doit être prévu pour des tensions continues supérieures à la tension continue nominale (plusieurs fois la tension nominale pour l'excitation de machines synchrones ou de machines à courant continu), et pour une marge additionnelle prévue pour contrôle, réglage de tension, compensation des variations de la tension alternative d'alimentation. Il en résulte quelquefois une puissance apparente du transformateur qui peut dépasser largement la puissance nominale fournie par le convertisseur.

Les valeurs limites minimales qui satisfont à l'application et au réseau courant alternatif, feront l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur. En l'absence d'un tel accord, la condition minimale pour être en accord avec cette recommandation est que la tension continue nominale soit maintenue pour toutes les valeurs de courant inférieures ou égales au courant continu nominal lorsque 95 % de la tension du réseau à courant alternatif est disponible aux bornes du côté réseau du convertisseur.

Un convertisseur doit fonctionner parfaitement comme onduleur (s'il y a lieu) à des valeurs spécifiées de courant continu sans décrochage, pour 90 % de la tension alternative nominale du côté réseau, la tension continue ne dépassant pas la tension continue nominale. Une tension plus basse peut être spécifiée entre l'utilisateur et le fournisseur pour des réseaux à courant alternatif présentant des fortes fluctuations; il est recommandé de calculer avec un niveau sûr d'inversion de 5 % inférieur à la tension alternative minimale prévue du côté réseau.

452.2 *External voltage surge*

Voltage surge caused by sources outside a convertor and appearing at the circuit terminals either on the line side or on the d.c. side.

External voltage surges may be generated from e.g. atmospheric disturbances, operating circuit-breakers, load switching, etc.

460. **Rated values for assemblies and equipments**

461. **General**

Rated values of a convertor should be related as closely as possible to the load that is served.

The overloads which fit the particular service may not fit the natural overload characteristics of the assembly or of the convertor transformer and other apparatus. The thermal time constant of the semiconductor devices and the assembly is short and peak current will normally determine its size.

The time constant of the transformer is long and the r.m.s. current value of the load cycle will fix its size.

The expected load diagrams with values of peaks, their duration and frequency are important in deciding the size of the assembly.

The choice of single or double convertor will affect the rated values of a thyristor assembly.

Adjustable speed motor drives in applications such as rolling mills, paper mills, mining hoists, etc., need special consideration. Recommendations will be given in a future IEC publication.

462. **Rated direct voltage**

The rated direct voltage shall be the continuous operating voltage assigned by the supplier.

A convertor frequently has to be designed for a maximum direct voltage higher than the rated direct voltage (in the case of field excitation of d.c. machines or synchronized machines it is designed for a multiple of the rated direct voltage) in order to allow a margin for control, voltage regulation, a.c. line voltage variation compensation. This may result in a rated apparent power for the convertor transformer which in some cases greatly exceeds the rated output of the convertor.

The minimum margins to suit the application and the a.c. system will be agreed between user and supplier. In the absence of such agreement as a minimum to meet this recommendation, the rated direct voltage shall be maintained at all values of current up to rated direct current when 95% of the a.c. system voltage is available at the line terminals of the convertor.

A convertor shall safely perform all its inverter duties (if any) at specified direct current values without conduction-through, at 90% of rated alternating voltage on line side with the direct voltage not exceeding rated direct voltage. A lower voltage may be negotiated between user and supplier for a.c. systems subject to heavy fluctuations, it being recommended that the safe inversion level should be set 5% lower than expected minimum alternating voltage on line side.

463. Valeurs nominales de courant

463.1 Valeurs nominales à spécifier

Pour chaque bloc et groupe convertisseurs, on doit spécifier une valeur pour le courant continu nominal relative à une charge spécifiée, de préférence un des cycles de charge normalisé du tableau III.

En outre, les blocs doivent avoir une valeur spécifiée pour le courant continu nominal en régime permanent.

463.2 Classes de service

En pratique, il est difficile d'évaluer les cycles de charge journaliers qui déterminent les dimensions exactes du convertisseur. Quand le diagramme est connu, ce n'est pas en général une base satisfaisante pour les essais et garanties, qui sont pour cette raison basés sur des diagrammes conventionnels avec des valeurs de courant constantes pour des durées de temps spécifiées. Les diagrammes sont choisis en se basant sur la connaissance par l'utilisateur et le fournisseur du service à réaliser.

Le tableau III donne des classes de service normalisées qui spécifient les capacités de courant en fonction des valeurs de courant et des durées.

TABLEAU III
Classes de service normalisées

Classe de service	Valeurs nominales des courants de convertisseurs et conditions d'essai des blocs (valeurs en pourcentage du courant continu nominal)
I	100% permanent
II	100% permanent 150% 1 minute
III	100% permanent 150% 2 minutes 200% 10 secondes
IV	100% permanent 125% 2 heures 200% 10 secondes
V	100% permanent 150% 2 heures 200% 1 minute
VI	100% permanent 150% 2 heures 300% 1 minute

463.3 Bases de valeurs nominales du courant

On doit spécifier une valeur nominale du courant continu qui sera valable seulement pour une classe de service spécifiée. Quand un convertisseur est prévu pour un fonctionnement correspondant à différentes classes de service, les valeurs nominales du courant continu doivent être données pour chaque classe.

Dans le cas où l'on ne trouve aucune classe normalisée appropriée dans le tableau III, le courant continu nominal sera la valeur efficace du cycle de charge répétitif correspondant à la période de 15 minutes la plus chargée sauf indication contraire.

463. **Rated current values**

463.1 *Current values to be specified*

Each convertor equipment and assembly shall have an assigned value for rated direct current related to a specified duty, preferably to one of the standard duty classes given in Table III.

Additionally, the assemblies shall have an assigned value for rated continuous direct current.

463.2 *Duty classes*

In practice, it is difficult to know the daily expected load diagrams on which the exact size of a convertor depends, and when the diagram is known, it is generally not a satisfactory basis for tests and guarantees. These are therefore usually based on conventional diagrams which show constant current values for specified durations. The diagrams are chosen on the basis of the knowledge that the user and supplier have of the service to be performed.

Table III contains standard duty classes which specify current capabilities in terms of current values and durations.

TABLE III
Standard duty classes

Duty class	Rated current values for convertors and test conditions for assemblies (values in per cent of rated direct current)
I	100% continuous
II	100% continuous 150% 1 minute
III	100% continuous 150% 2 minutes 200% 10 seconds
IV	100% continuous 125% 2 hours 200% 10 seconds
V	100% continuous 150% 2 hours 200% 1 minute
VI	100% continuous 150% 2 hours 300% 1 minute

463.3 *Basis of rated current values*

A rated direct current value shall be specified and valid only for a defined duty cycle. If a convertor is designed to operate at different duty cycles, separate rated direct current values have to be given for each duty.

If no suitable standard duty class can be found in Table III, the rated direct current shall be the r.m.s. value of the repetitive load duty cycle taken over the most onerous 15 minute period if not otherwise specified.

Les convertisseurs dimensionnés selon cette recommandation doivent être capables de supporter les courants d'essai correspondants au tableau III, sans dommage. Chacun des courants de surcharge spécifiés dans le tableau III est applicable individuellement après que des températures équivalentes à un fonctionnement permanent à courant continu nominal (100%) ont été atteintes.

Dans le cas où une classe de service normalisée est adoptée, les conditions spécifiées dans le tableau III et dans ce paragraphe doivent être les seules références par rapport à la capacité de surcharge en rédigeant le contrat et lors des essais.

Dans le cas où aucune classe de service appropriée n'est trouvée dans le tableau III, les conditions d'essai et de garantie feront l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

Indépendamment de la classe de service spécifiée pour un convertisseur, ses constituants doivent être capables de supporter des courants de défaut dans les limites permises par l'équipement de protection, fourni ou recommandé par le fournisseur.

Quand l'augmentation de température de toutes les parties du convertisseur est égale ou inférieure à celle correspondant à un fonctionnement à courant nominal, le convertisseur doit pouvoir supporter un courant de surcharge temporaire de grandeur et de durée telles que l'équipement de réglage de charge ou la protection contre les surcharges soit à même de protéger tous les constituants.

463.4 Conditions de détermination des valeurs de courant nominal

Divers diagrammes de courants de charge hypothétiques, donnant des conditions de charge supposées typiques pour les classes de service normalisées, sont donnés dans le tableau IV, avec une indication d'application pour chaque classe.

Pour se guider dans la détermination de la valeur correspondant à 100% du courant continu nominal du groupe redresseur, le cycle de charge journalier prévu devra être examiné et les conditions indiquées dans le tableau IV ne devront pas être dépassées.

Les conditions de charge indiquées dans le tableau IV sont inférieures aux conditions d'essai (et de garantie) indiquées dans le tableau III. Ceci est justifié du fait que les surcharges sont très souvent simultanées. Il en résulte que des surcharges de courte durée (maximum 5 minutes) pour la plupart des cas peuvent être appliquées aussi souvent que la charge la plus longue le permet, mais avec la restriction que les courants de pointe excédant le courant nominal ne puissent être débités qu'à des intervalles d'une durée de 20 minutes au moins. La restriction est due au fait que la constante de temps thermique des blocs convertisseurs est, en général, 2 à 20 minutes selon les caractéristiques de réfrigération.

C'est-à-dire que pour les classes de service IV et V, les périodes t_1 , t_2 , etc., et les courants correspondants I_1 , I_2 peuvent diverger considérablement sans influencer la conception du transformateur.

Dans le cas où aucune classe de service convenable ne peut être trouvée dans les tableaux III et IV, on devra déterminer des valeurs pour le courant continu nominal et pour le courant de surcharge, avec leur durée, en se basant sur les conditions particulières à l'application.

Convertors rated in accordance with this recommendation shall, according to their duty class, be capable of carrying the test currents according to Table III without injury. The overload currents specified in Table III are each individually applicable after temperatures have been reached equivalent to continuous operation at rated direct current (100%).

In case a standard duty class is adapted, the conditions specified in Table III and in this clause should be the only reference as regards overload capability when making the contract and the tests.

For cases where no suitable duty class is found in Table III, the test and warranty conditions shall be agreed upon between user and supplier.

Independent of the duty class chosen for the convertor, its constituent assemblies shall be capable of withstanding fault currents within the limits permitted by the protective equipment as supplied or recommended by the convertor supplier.

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

463.4 *Determination of requirements for rated current values*

Different hypothetical load current diagrams giving assumed typical load conditions for the standard duty classes are given in Table IV together with an indication of application area for each class.

For guidance in determining the 100% rated current of the equipment, the daily expected load diagram shall be examined and the conditions indicated in Table IV should not be exceeded.

The load conditions specified in Table IV are less onerous than the test and warranty conditions specified in Table III. This allows for the fact that the overloads are sometimes concurrent and ensures that overloads of short duration (5 minutes and less) can in almost all practical cases be safely applied at current values specified as often as the longer loading allows with the only restriction that the time between two consecutive peak overloads is at least 20 minutes. The restriction is due to the fact that the thermal time constant of rectifier assemblies is normally in the order of 2 to 20 minutes depending on the properties of the cooling system.

For duty classes IV and V, this will mean that the time periods t_1 , t_2 etc., and corresponding current values I_1 , I_2 may differ considerably without affecting the design of the transformer.

If no suitable duty class can be found by means of Tables III and IV, a set of values for rated direct current and overload currents together with their durations should be evolved based on the specific requirements of the application.

TABLEAU IV

Exemples de cycles de charge – guide pour le choix des classes de service

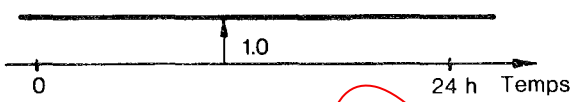
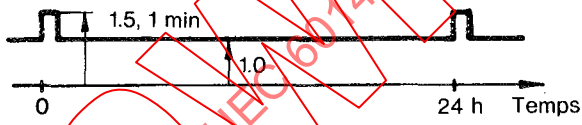
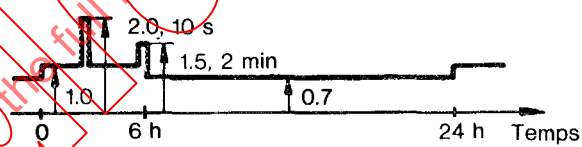
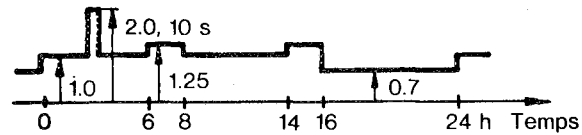
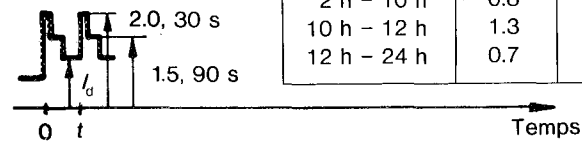
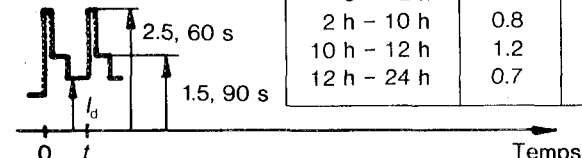
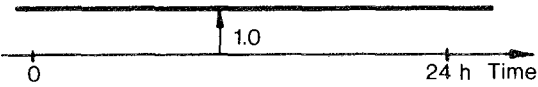
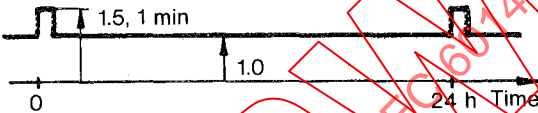
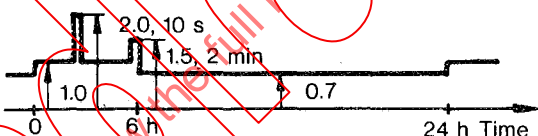
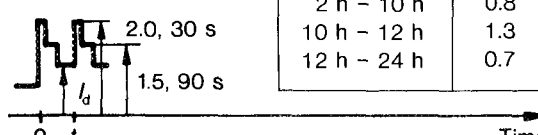
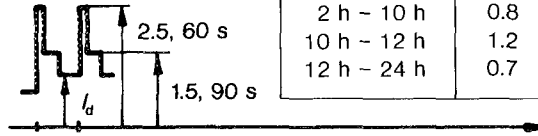
Classe de service	Applications les plus courantes	Conditions de charge supposées typiques pour la classe de service Courant de charge par rapport au courant continu nominal															
I	Opérations électrochimiques, etc.																
II	Opérations électrochimiques, etc.																
III	Petit service industriel, et petit service de sous-station de traction																
IV	Service industriel																
V	Moyenne traction (sous-station) et mines	 <table border="1" data-bbox="1085 1489 1460 1668"> <thead> <tr> <th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>t (min)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 2 h</td><td>1.3</td><td>10</td></tr> <tr> <td>2 h - 10 h</td><td>0.8</td><td>15</td></tr> <tr> <td>10 h - 12 h</td><td>1.3</td><td>10</td></tr> <tr> <td>12 h - 24 h</td><td>0.7</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	t (min)	0 - 2 h	1.3	10	2 h - 10 h	0.8	15	10 h - 12 h	1.3	10	12 h - 24 h	0.7	30
	I_d (p.u.)	t (min)															
0 - 2 h	1.3	10															
2 h - 10 h	0.8	15															
10 h - 12 h	1.3	10															
12 h - 24 h	0.7	30															
VI	Grande traction (sous-station)	 <table border="1" data-bbox="1085 1792 1460 1971"> <thead> <tr> <th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>t (min)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 2 h</td><td>1.2</td><td>3</td></tr> <tr> <td>2 h - 10 h</td><td>0.8</td><td>6</td></tr> <tr> <td>10 h - 12 h</td><td>1.2</td><td>3</td></tr> <tr> <td>12 h - 24 h</td><td>0.7</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	t (min)	0 - 2 h	1.2	3	2 h - 10 h	0.8	6	10 h - 12 h	1.2	3	12 h - 24 h	0.7	20
	I_d (p.u.)	t (min)															
0 - 2 h	1.2	3															
2 h - 10 h	0.8	6															
10 h - 12 h	1.2	3															
12 h - 24 h	0.7	20															

TABLE IV

Examples of load cycles as guidance for choice of duty class

Duty class	Most suitable applications	Assumed typical load conditions for the duty class Load current in relation to rated direct current															
I	Electrochemical processes, etc.																
II	Electrochemical processes, etc.																
III	Light industrial and , light traction sub- station service																
IV	Industrial service																
V	Medium traction sub- station and mining	 <table border="1" data-bbox="927 1480 1305 1659"> <thead> <tr> <th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>t (min)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 2 h</td><td>1.3</td><td>10</td></tr> <tr> <td>2 h - 10 h</td><td>0.8</td><td>15</td></tr> <tr> <td>10 h - 12 h</td><td>1.3</td><td>10</td></tr> <tr> <td>12 h - 24 h</td><td>0.7</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	t (min)	0 - 2 h	1.3	10	2 h - 10 h	0.8	15	10 h - 12 h	1.3	10	12 h - 24 h	0.7	30
	I_d (p.u.)	t (min)															
0 - 2 h	1.3	10															
2 h - 10 h	0.8	15															
10 h - 12 h	1.3	10															
12 h - 24 h	0.7	30															
VI	Heavy traction sub- station	 <table border="1" data-bbox="927 1783 1305 1962"> <thead> <tr> <th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>t (min)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 2 h</td><td>1.2</td><td>3</td></tr> <tr> <td>2 h - 10 h</td><td>0.8</td><td>6</td></tr> <tr> <td>10 h - 12 h</td><td>1.2</td><td>3</td></tr> <tr> <td>12 h - 24 h</td><td>0.7</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	t (min)	0 - 2 h	1.2	3	2 h - 10 h	0.8	6	10 h - 12 h	1.2	3	12 h - 24 h	0.7	20
	I_d (p.u.)	t (min)															
0 - 2 h	1.2	3															
2 h - 10 h	0.8	6															
10 h - 12 h	1.2	3															
12 h - 24 h	0.7	20															

464. **Remarques particulières aux convertisseurs doubles**

Un convertisseur double peut avoir soit une *charge symétrique*, lorsque la charge est symétrique pour les deux sections de convertisseur dans les deux directions de courant, soit une *charge asymétrique*, lorsque les charges pour les deux sections sont différentes.

Les recommandations de l'article 463 s'appliquent aussi aux convertisseurs doubles. Dans le cas de convertisseurs doubles à charge asymétrique, des valeurs de courant nominal doivent être données séparément pour chaque section.

Des recommandations spéciales pour des entraînements de moteurs à vitesse variable seront données dans une future publication.

470. **Essais des blocs de diodes et groupes redresseurs**

471. **Généralités**

Tous les dispositifs à semiconducteurs et éléments, ainsi que les transformateurs et les autres constituants du redresseur, doivent être soumis à des essais individuels avant le montage du groupe.

Les essais individuels doivent être effectués sur tous les redresseurs, sauf convention contraire avant la commande.

Les essais de type doivent être effectués afin de s'assurer que le matériel est bien conforme aux exigences spécifiées par ces recommandations.

Les essais doivent être réalisés sous des conditions équivalentes à celles qui existeront pendant le fonctionnement réel. Si cela n'est pas praticable, les blocs et les équipements doivent être soumis respectivement à des essais dans des conditions qui permettent de vérifier les performances spécifiées.

Lors de l'essai d'un groupe, le bloc et les autres constituants du groupe peuvent être essayés séparément si cela est plus commode. Lorsqu'ils font l'objet d'essais séparés, les blocs doivent être alimentés par un transformateur dont le couplage est équivalent à celui spécifié dans le contrat.

Sauf accord contraire lors de la commande, la source d'alimentation à courant alternatif ainsi que les tensions d'essai doivent être à la fréquence nominale, sauf toutefois pour l'essai d'isolement, qui peut être fait à toute fréquence convenable (au choix du constructeur) comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

Pour l'exécution et la classification des essais, voir également les articles 140 et 141.

L'ensemble des essais doit comprendre tous les essais suivants, à l'exception des essais en charge et la vérification des propriétés dans des conditions de service inhabituelles (marquées par (x)), qui sont des essais de type facultatifs, qui ne sont effectués que s'ils sont dûment prévus dans le contrat.

Pour les convertisseurs de faible puissance, les essais peuvent être effectués comme défini à l'article 480.

464. **Particular remarks for double convertors**

A double convertor may have either *symmetrical load* where the loading of the two convertor sections is symmetrical in the two directions of current flow or *asymmetrical load* where the loadings of the two sections are different.

The recommendations in Clause 463 apply also to double convertors. In case of double convertors with asymmetrical loading, each section shall be given separate rated current values.

Special recommendations for double convertors intended for adjustable speed motor drives will be given in a future publication.

470. **Tests for diode assemblies and rectifier equipments**

471. **General**

All semiconductor devices and stacks, transformers and other components of the rectifier equipment shall be routine tested before assembly.

All rectifier equipments shall be routine tested before delivery unless otherwise agreed before the order.

Type tests shall be performed in order to have the assurance that all materials conform to the requirements specified by the present recommendation.

Type tests shall be performed under electrical conditions equivalent to those in real service. If this is not practicable, the assemblies and equipments respectively have to be tested under those conditions, which allow the specified performance to be proved.

In equipment tests, the assembly and other items of the equipment may be tested separately if this is more convenient. When tested separately, the stack or assembly shall be supplied from a transformer with a connection equivalent to that specified for the contract.

Unless otherwise agreed at the time of making the contract, the a.c. supply and test voltages should be of rated frequency except for the insulation test, which may be of any convenient frequency (at the manufacturer's choice) between 15 Hz and 100 Hz.

For the performance and classification of tests, see also Clauses 140 and 141.

The tests shall comprise all the following items except load test and checking of properties under unusual service conditions (marked with (x)) which are optional type tests to be made only if specifically agreed in the contract.

For small rectifier equipments, the tests may be performed as specified in Clause 480.

	Essai de type	Essai individuel	Spécification
Essai d'isolement	x	x	paragraphe 492.1
Essai à faible charge	x	x	paragraphe 492.2
Essai de courant	x		paragraphe 492.3
Vérification des auxiliaires	x	x	paragraphe 492.4
Détermination des pertes	x		article 472
Essai d'échauffement	x		paragraphe 492.6
Essai en charge	(x)		paragraphe 492.7
Vérification de la coordination des protections	x	x	paragraphe 492.9
Vérification des propriétés dans des conditions de service inhabituelles	(x)		paragraphe 492.10
Vérification des propriétés du dispositif de commande	x	x	paragraphe 492.11

472. Détermination des pertes dans les blocs de diodes et groupes redresseurs

472.1 Généralités

Les pertes dans les blocs de diodes peuvent être déterminées soit par des calculs basés sur des mesures, soit par des mesures directes.

Lorsque les mesures des pertes sont prescrites, elles seront basées sur les suppositions suivantes:

- Les pertes dans les cellules en service, dues au courant et à la tension inverses, sont normalement négligeables. Quand des diodes à avalanche contrôlée sont employées, les pertes inverses peuvent être appréciables et devront être prises en considération.
- La chute de tension directe dans les cellules peut être représentée par un terme constant plus un terme résistif directement proportionnel au courant.
- Les pertes en service dues au courant direct sont supposées égales à celles qui existeraient pour la même valeur du courant direct avec un courant ayant une forme d'onde rectangulaire dans les bras redresseurs pour un montage polyphasé.
- Les bobines d'inductance saturables ou non saturables faisant partie du groupe du transformateur, et traversées par des courants des cellules ou des courants de bras du convertisseur, doivent être incluses dans les circuits de mesure. La polarisation des bobines d'inductance saturables sera réglée à la valeur nécessaire pour donner la tension continue nominale pour le courant continu nominal et pour la tension nominale du côté réseau, pendant le fonctionnement normal.

Les méthodes de mesure qui sont prescrites ici sont conformes à ces suppositions. L'essai ou les essais peuvent être exécutés avec l'élément ou le bloc à une température qui est celle existant normalement dans l'usine du constructeur. Des mesures de pertes dans le sens direct doivent être faites quand toutes les parties du bloc redresseur ont atteint la température d'équilibre pour le courant continu nominal.

Dans le cas où le transformateur de convertisseur est inclus dans la mesure des pertes, les pertes en charge doivent être amenées à la limite d'échauffement spécifiée plus 20 °C (classes d'isolement A et B), en augmentant la valeur de P de 0,12 % pour chaque °C au-dessous de la valeur de référence. A cette fin, la température du transformateur est considérée être la valeur moyenne de la température de l'huile dans le cas des transformateurs immergés dans l'huile, ou la température moyenne des enroulements dans le cas des transformateurs à refroidissement par air.

	Type test	Routine test	Specifications
Insulation test	x	x	Sub-clause 492.1
Light-load test	x	x	Sub-clause 492.2
Current test	x		Sub-clause 492.3
Checking of auxiliary devices	x	x	Sub-clause 492.4
Power loss determination	x		Clause 472
Temperature-rise test	x		Sub-clause 492.6
Load test	(x)		Sub-clause 492.7
Checking the co-ordination of protective devices	x	x	Sub-clause 492.9
Checking properties under unusual service conditions	(x)		Sub-clause 492.10
Checking properties of incorporated control system	x	x	Sub-clause 492.11

472. **Power loss determination for diode assemblies and rectifier equipments**

472.1 *General*

Losses in the diode assembly may be determined either by calculations based on measurements or by direct measurements.

When power loss measurements are required, they shall be based on the following assumptions:

- The losses in the cells in service, due to reverse current and voltage, are normally negligible. When controlled avalanche diodes are used, reverse power losses might be appreciable and should then be taken into account.
- The forward voltage drop in the cells can be represented by a constant component plus a resistive component directly proportional to the current.
- The losses in service due to forward current are taken to be equal to those that would exist at the same value of direct current and with rectangular current waveforms in the rectifier arms in the case of polyphase connections.
- Saturable or non-saturable reactors built into the assembly and carrying cell-side phase current or convertor circuit element currents shall be included in the measuring circuits. The bias of saturable reactors shall be adjusted to the value that will be required in normal operation to supply rated direct voltage at rated direct current and rated voltage on line side.

The methods of measurement that are prescribed here are based on the foregoing assumptions. The test, or tests, may be performed in the normal ambient temperature prevailing in the manufacturer's plant. Forward loss measurements shall be made when all parts of the rectifier assembly have reached stable temperature carrying the rated direct current.

When the convertor transformer is included in the power loss measurement, the load loss shall be corrected to a reference temperature of specified limit temperature rise plus 20°C (Class A and B insulation) by increasing the value of P by 0.12% for each °C by which the transformer temperature during the measurement is below the reference value. For this purpose, the transformer temperature shall be taken as the average oil temperature in oil-immersed transformers or the mean winding temperature in air-cooled transformers.

L'essai devra être exécuté en accord avec les paragraphes 472.3, 472.4 ou 472.5, selon les montages employés.

Dans tous les cas, les pertes en service dues aux diviseurs de tension à résistances, aux circuits d'amortissement et aux limiteurs de surtension, s'il y en a, doivent être calculées et ajoutées.

472.2 *Mesure des pertes par la méthode du court-circuit*

Les bornes continues de l'élément ou du bloc doivent être court-circuitées et les bornes alternatives doivent être alimentées au travers d'une réactance suffisante, afin que le courant d'alimentation soit pratiquement sinusoïdal, à une valeur de la tension faisant circuler le courant désiré et à fréquence nominale. La puissance d'entrée doit être mesurée aux bornes à courant alternatif de l'élément ou du bloc. Les wattmètres employés doivent convenir à la mesure des basses tensions, et on doit s'assurer que les effets des champs magnétiques parasites sont rendus négligeables.

Deux essais de court-circuit doivent être réalisés consécutivement au courant continu nominal I_{dN} et au courant $k \cdot I_{dN}$ avec:

$$k = \frac{\text{facteur de forme du courant dans un bras en service réel (empiètement négligé)}}{\text{facteur de forme du courant dans un bras en essai}}$$

Une première mesure de pertes P_2 est faite à $k \cdot I_{dN}$ après qu'une température constante a été atteinte. Une seconde mesure de pertes P_1 est faite aussi rapidement que possible, après réduction de la valeur du courant à I_{dN} .

Les pertes P correspondant au courant continu nominal en service normal sont calculées au moyen de la formule suivante:

$$P = \frac{k+1}{k} \cdot P_2 - k \cdot P_1$$

Si les pertes dans les connexions continues du court-circuit et dans les shunts sont appréciables, elles doivent être mesurées et déduites de P_1 et P_2 .

472.3 *Montages monophasés*

Les pertes directes doivent être déterminées soit par mesure directe des puissances d'entrée et de sortie à la charge nominale, soit calculées, au choix du constructeur.

472.4 *Montages double-voie polyphasés*

Les méthodes A1, B ou C peuvent être utilisées.

Méthode A1

L'essai doit être réalisé en court-circuit selon le schéma de la figure 18:

The test shall be performed in accordance with Sub-clauses 472.3, 472.4 or 472.5, according to the connection used. In all cases the losses that will occur in service in voltage dividing resistors, damping circuits and surge divertors, if any, are to be calculated and added.

472.2 *Loss measurement by short-circuit method*

The d.c. terminals of the stack or assembly are to be short-circuited, and its a.c. terminals are to be supplied through sufficient reactance to cause the input current to be practically sinusoidal, at a voltage sufficient to cause the desired value of the current to flow and at rated frequency. The input power is to be measured at the a.c. terminal of the stack or assembly. The watt-meters used must be suitable for the low voltage and care must be taken to ensure that the effects of stray magnetic fields are rendered negligible.

Two short-circuit tests are to be performed in quick succession at rated direct current I_{dN} and at $k \cdot I_{dN}$, where:

$$k = \frac{\text{form factor of arm current in real service (neglecting overlap)}}{\text{form factor of arm current at test}}$$

A first measurement of losses P_2 is made after reaching constant temperature at $k \cdot I_{dN}$. A second measurement of losses P_1 is made as quickly as possible after reducing the current to I_{dN} .

The losses P corresponding to rated direct current in normal service is calculated by means of the following formula:

$$P = \frac{k+1}{k} \cdot P_2 - k \cdot P_1$$

Where appropriate, the loss in the d.c. short-circuiting connections and shunts, if appreciable, is to be measured and deducted from P_1 and P_2 .

472.3 *Single-phase connections*

Power losses shall be determined from a direct measurement of input and output power at rated load or shall be calculated from segregated loss measurements, at the option of the manufacturer.

472.4 *Polyphase double-way connections*

Methods A1, B or C may be used.

Method A1

The test shall be performed as a short-circuit test with a circuit shown in Figure 18:

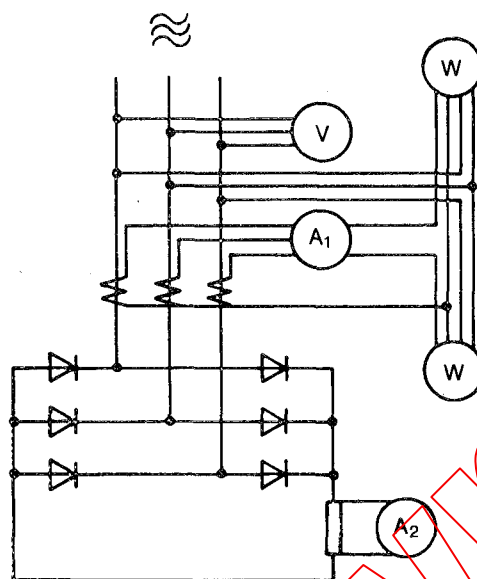


FIGURE 18

A_1 = ampèremètre à courant alternatif mesurant les valeurs efficaces

A_2 = ampèremètre à courant continu mesurant les valeurs moyennes

V = voltmètre alternatif mesurant les valeurs efficaces

W = wattmètre

Les mesures doivent être faites à $1,1 \cdot I_{dN}$ et I_{dN} , et la perte du bloc redresseur en service au courant continu nominal est:

$$P = 1,91 \cdot P_2 - 1,1 \cdot P_1$$

Cette équation est basée sur la supposition que les formes d'ondes pendant l'essai sont purement sinusoïdales, avec un facteur de forme égal à 1,11. Si l'on n'obtient pas des courants sinusoïdaux, les multiplicateurs pour I_{dN} , P_2 et P_1 doivent être déterminés par la méthode donnée dans le paragraphe 472.2.

Si les appareils d'essai ne permettent pas un réglage des courants aux valeurs exactes spécifiées ci-dessus, on devra prendre des mesures à des valeurs de courant un peu en dessous et un peu au-dessus des valeurs spécifiées, et la puissance d'entrée est obtenue par interpolation entre les lectures du wattmètre pour ces valeurs.

Méthode B

Dans les cas des groupes redresseurs livrés sous forme d'un bloc unitaire et s'il est plus indiqué de mesurer les pertes totales, la même méthode est utilisée avec les wattmètres montés sur le côté réseau du transformateur.

Le transformateur aura atteint la température d'équilibre correspondant à P_2 , et les pertes de cuivre du transformateur seront corrigées pour l'augmentation de température nominale plus 20 °C.

Les mesures faites par la méthode B peuvent être utilisées pour la détermination de l'échauffement.

Méthode C

Un transformateur d'essai calibré peut être utilisé au lieu du transformateur propre du redresseur de la méthode B. Les pertes du bloc redresseur sont égales à P moins les pertes du transformateur d'essai.

Le transformateur propre du redresseur peut être calibré et utilisé comme transformateur d'essai si l'on veut connaître les pertes séparées.

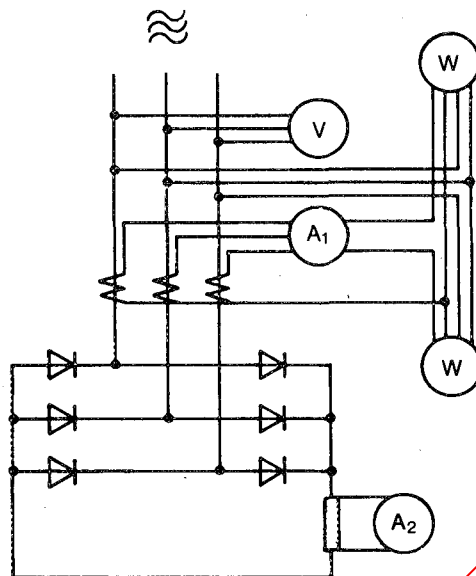


FIGURE 18

A_1 = a.c. ammeter indicating r.m.s. values

A_2 = d.c. ammeter indicating mean values

V = a.c. voltmeter indicating r.m.s. values

W = wattmeter

The measurements are to be performed at $1.1 \cdot I_{dN}$ and I_{dN} and the power loss in the assembly in service at rated direct current is taken to be:

$$P = 1.91 \cdot P_2 - 1.1 \cdot P_1$$

This equation assumes essentially sinusoidal wave shapes on test, having a form factor of 1.11. If sinusoidal currents are not obtained, the multipliers for I_{dN} , P_2 and P_1 are to be determined by the method given in Sub-clause 472.2.

If the test apparatus does not permit adjustment of the currents to exact values specified above, then measurements shall be taken at currents slightly above and below the specified values, and the watt input obtained by interpolation between the measured wattmeter readings at these values.

Method B

In those cases where a complete convertor including transformer is supplied by one manufacturer and when it is convenient to measure only the total convertor losses, the same method of measurement is used with the wattmeters connected on the line side of the transformer.

The transformer shall have reached steady-state temperature corresponding to P_2 , and the transformer copper losses shall be corrected to rated temperature rise plus 20 °C.

Measurements made under Method B may be used as part of the transformer temperature-rise determination.

Method C

A calibrated test transformer may be used instead of the particular rectifier transformer of Method B. The losses of the rectifier assembly are equal to P minus the losses of the test transformer.

The actual unit transformer may be calibrated and used as the test transformer when separate losses are required.

472.5 Montages simple-voie polyphasés

Les méthodes A2 (modification de A1), B, C, D et E peuvent être utilisées. Des spécifications pour l'essai B et C sont données au paragraphe 472.4.

Méthode A2

La méthode A2 est essentiellement la même que la méthode A1, avec les transformateurs de courant insérés dans les conducteurs d'un seul groupe de commutation du montage simple-voie, mais avec une résistance connectée aux bornes secondaires de chaque transformateur de courant et une diode de blocage en série avec chaque groupe de bobines d'instrument, selon schéma de la méthode D. Des ampèremètres c.c. et c.a. doivent être utilisés, comme dans la méthode D.

Des mesures successives pour les groupes commutants individuels peuvent être réalisées, et ajoutées pour obtenir les pertes totales. Dans ce cas, la circulation du fluide de refroidissement doit être limitée afin d'obtenir approximativement les mêmes températures internes que pendant le fonctionnement normal.

Méthode D

L'essai doit être réalisé en court-circuit selon le schéma de la figure ci-dessous:

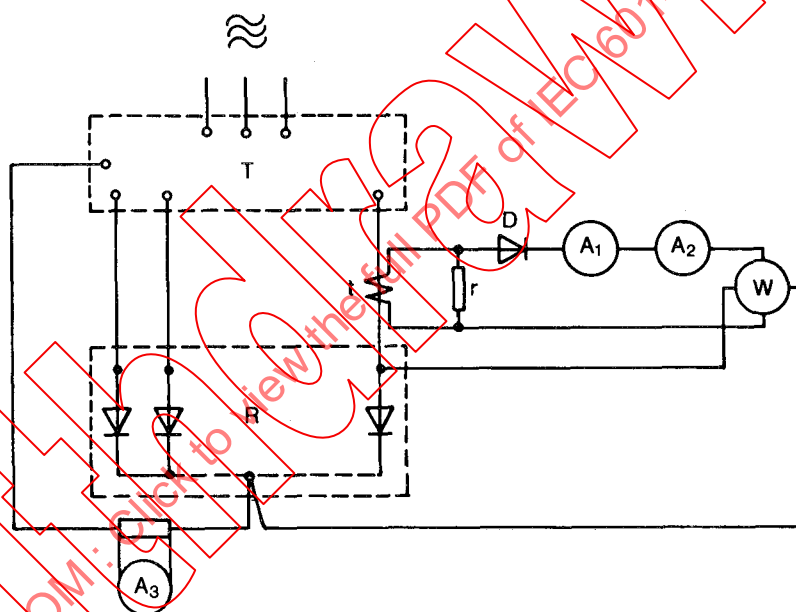


FIGURE 19

- R = élément redresseur ou bloc en essais, ayant n bras (le premier, le second et le dernier sont figurés)
- T = transformateur de redresseur, soit le transformateur à fournir, soit un transformateur d'essai équivalent et à basse tension
- t = transformateur de courant ayant un rapport "a" entre le courant primaire et le courant secondaire. Lorsque le secondaire est alimenté par une tension sinusoïdale de $10 U_F$ (qui doit être inférieure à la tension pour laquelle le courant magnétisant commence à croître) avec le primaire ouvert, le courant magnétisant i_M ne doit pas dépasser $0,02 I_p/a$, avec I_p = valeur moyenne du courant primaire dans l'essai de mesure des pertes
- D = diode, montée avec une polarité telle que les composantes continues des courants primaire et secondaire du transformateur du courant soient en opposition. Le courant inverse pour une tension inverse de $15 U_F$ doit être négligeable, avec U_F égal à la chute de tension directe de D, approximativement égale à 0,5–1 V

472.5 Polyphase single-way connections

Methods A2 (modification of A1), B, C, D and E may be used. Specifications for test B and C are given in Sub-clause 472.4.

Method A2

Method A2 is substantially the same as Method A1, with the current transformers connected in the leads of a single commutating group of the single-way connection, but with a resistor connected across each current transformer secondary and a blocking diode in series with each set of instrument coils similar to the connection shown in the diagram under Method D. A.c. and d.c. ammeters should be used, as in Method D.

Measurements may be made successively on individual commutating groups, and added for the total loss. If tested in this manner, the flow of cooling medium should be restricted to obtain approximately the same internal temperature as in normal operation.

Method D

The test shall be performed as a short-circuit test with a circuit shown in the figure:

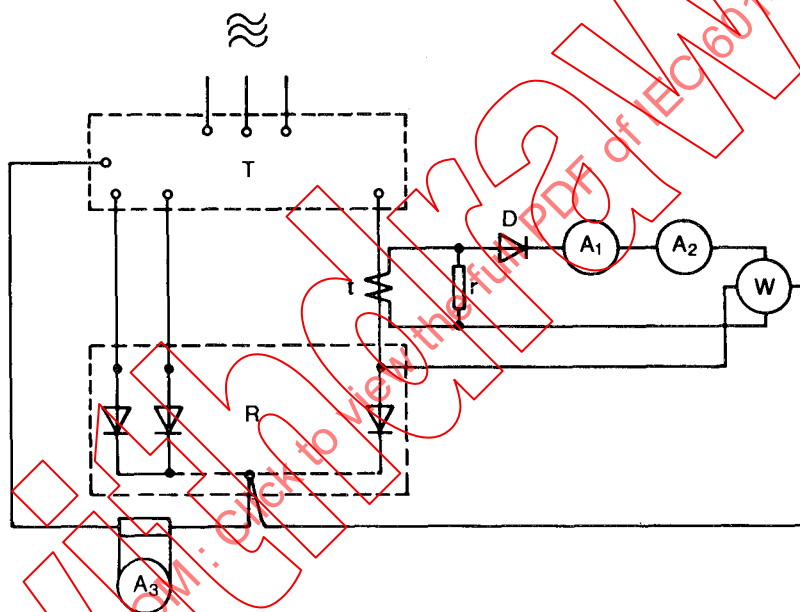


FIGURE 19

- R** = rectifier stack or assembly under test, having n arms (first, second and last are shown)
- T** = rectifier transformer, either transformer for contract concerned or equivalent test transformer of low voltage
- t** = current transformer, having primary/secondary current ratio “ a ”. When secondary is supplied with sinusoidal voltage $10 U_F$ (which must be below the voltage at which the magnetizing current starts to increase), with open-circuited primary, the magnetizing current i_M must not exceed about $0.02 I_p/a$, where I_p = mean value of primary current in loss-measurement test
- D** = semiconductor diode, connected with polarity such that d.c. components of currents in primary and secondary of the current transformer oppose one another. Inverse current at inverse voltage $15 U_F$ must be negligible, where U_F = forward voltage drop of D , approximately 0.5–1 V

W = wattmètre basse tension (résistance de la bobine courant $< r/1\ 000$)
 A_1 = ampèremètre à courant alternatif mesurant les valeurs efficaces
 A_2 = ampèremètre à courant continu mesurant les valeurs moyennes
 A_3 = ampèremètre à courant continu mesurant les valeurs moyennes
 r = résistance de valeur ohmique approximative $10\ U_F/i_M$
 I_1 = valeur efficace du courant mesuré par A_1
 I_2 = valeur moyenne du courant mesuré par A_2
 I_3 = courant continu de l'élément ou du bloc mesuré par A_3
 p = watts mesurés par W

Pour contrôler la mesure du courant dans le bras redresseur, on vérifiera la relation existant entre les lectures des ampèremètres A_2 et A_3 .

Note. — Si le courant nominal de R est suffisamment faible, on pourra supprimer t, D et r, et brancher A_1 , A_2 et W directement dans le bras du redresseur.

Les mesures doivent être faites pour les courants moyens du bras

$I_2 = I_{dN}/n$ et $I = kI_{dN}/n$ où

n = nombre de bras du redresseur de l'élément ou du bloc

$k = \frac{\sqrt{3}}{f}$ pour une durée de conduction polyphasée de 120° , ou

$k = \frac{\sqrt{6}}{f}$ pour une durée de conduction polyphasée de 60° , et

$f = I_1/I_2$ facteur de forme du courant dans un bras redresseur dans l'essai à $I_2 = I_{dN}/n$ mesuré par les ampèremètres A_1 et A_2 .

Si P_1 et P_2 sont les watts p mesurés par le wattmètre W au courant moyen du bras $I_2 = I_{dN}/n$ et $I_2 = kI_{dN}/n$ respectivement, les pertes dans l'élément redresseur ou le bloc pour le courant continu nominal I_{dN} sont:

$$P = n.a. \left(\frac{k+1}{k} \cdot P_2 - k \cdot P_1 \right)$$

a = rapport des courants primaire et secondaire du transformateur t.

Si le constructeur certifie que les bras de l'élément redresseur ou du bloc sont suffisamment semblables, l'essai ne sera fait que sur deux bras, l'un situé au milieu du bloc, et l'autre près de l'extrémité, mais non déphasés de 180° électriques et non situés du même côté de la bobine d'absorption, s'il y en a. La moyenne des deux mesures sera retenue.

Toute autre perte dans le bloc, qui n'est pas incluse dans la mesure de pertes, doit être mesurée séparément, ou calculée et ajoutée à P .

Si l'appareillage d'essai ne permet pas d'ajuster le courant aux valeurs exactes définies ci-dessus, les mesures seront alors faites à des courants légèrement au-dessus et au-dessous des valeurs définies et les watts absorbés au courant défini seront obtenus par interpolation entre ces valeurs mesurées.

Méthode E

Si un bloc redresseur peut être complété par un autre identique pour constituer un montage double-voie, la mesure des pertes pourra être réalisée suivant la méthode décrite au paragraphe 472.4.

En connectant deux blocs redresseurs pour constituer un montage double-voie, on doit prendre soin d'éviter des changements importants de pertes dans les connexions du jeu de barres.

W = low-voltage wattmeter (resistance of current coil $< r/1\ 000$)
 A_1 = a.c. ammeter, indicating r.m.s. values
 A_2 = d.c. ammeter, indicating mean values
 A_3 = d.c. ammeter, indicating mean values
 r = resistor, of ohmic value approximately $10 U_F/i_M$
 I_1 = r.m.s. current indicated by A_1
 I_2 = mean current indicated by A_2
 I_3 = direct current of stack or assembly, indicated by A_3
 p = watts indicated by W

As a check on the current measurement in the rectifier arm, the relationship between the readings of ammeters A_2 and A_3 should be verified.

Note. – Where the current rating of R is small enough, t , D and r may be omitted and A_1 , A_2 and W connected to measure the rectifier arm current directly.

The measurements are to be performed at average arm currents

$I_2 = I_{dN}/n$ and $I_2 = k \cdot I_{dN}/n$, where

n = number of rectifier arms in stack or assembly

$k = \frac{\sqrt{3}}{f}$ for polyphase 120° conduction, or

$k = \frac{\sqrt{6}}{f}$ for polyphase 60° conduction, and

$f = I_1/I_2$ = form factor of rectifier arm current in the test at $I_2 = I_{dN}/n$, as measured by ammeters A_1 and A_2 .

If P_1 and P_2 are the watts indicated by wattmeter W at average arm currents $I_2 = I_{dN}/n$ and $I_2 = k \cdot I_{dN}/n$ respectively, then the power loss in the rectifier stack or assembly at rated direct current I_{dN} is taken to be:

$$P = n.a. \left(\frac{k+1}{k} \cdot P_2 - k \cdot P_1 \right)$$

a = primary/secondary current ratio of current transformer t .

If the manufacturer certifies that the arms of the rectifier stack or assembly are substantially identical, then it shall be regarded as sufficient if the test is done on only two arms, one near the middle of the assembly and one near the outside, and the average of the losses shall be taken. The arms chosen shall not be 180 electrical degrees apart and not on the same side of the interphase transformer, if any.

All other losses in the assembly, not properly included in the loss measurement, must be separately measured or calculated and added to P .

If the test apparatus does not enable the current to be adjusted to the exact values specified above, then measurements shall be taken at currents slightly above and below the specified values and the watt input at the specified current then obtained by interpolation between these measured values.

Method E

If one rectifier assembly can be completed by another assembly equal to it to form a double-way connection, the power loss measurement may be performed according to the method described in Sub-clause 472.4.

In connecting two rectifier assemblies to form a double-way connection, care must be exercised to avoid significant change of losses in the heavy bus-bar connections.

480. Essais des petits groupes convertisseurs à thyristors

Dans le cas des groupes convertisseurs de faible puissance, de 300 kW ou moins et de courant nominal ne dépassant pas 5 000 A, livrés sous forme d'un bloc unitaire, l'essai peut si cela est possible, ou si cela est stipulé par accord commun entre le fournisseur et l'utilisateur, être constitué par un essai à pleine charge.

Les essais comprennent les vérifications suivantes, à l'exception des essais de type facultatif (marqués par (x)) qui ne doivent être effectués que s'ils sont dûment prévus dans le contrat.

	Essai de type	Essai individuel	Spécifications
Mesure de la variation propre de tension	x		paragraphe 480.1
Essai d'isolement	x	x	paragraphe 492.1
Mesure du rendement	x		paragraphe 480.2
Mesure du facteur de puissance	x		paragraphe 480.3
Essai d'échauffement	x		paragraphe 480.4
Essai de charge	(x)		paragraphe 492.7
Vérification des propriétés du dispositif de commande (seulement pour des convertisseurs à thyristors)	x	x	paragraphe 492.8
Vérification de la coordination des dispositifs de protection	x	x	paragraphe 492.9
Vérification des propriétés dans des conditions de service inhabituelles	(x)		paragraphe 492.10.
Vérification des propriétés du système de stabilisation incorporé	x	x	paragraphe 492.11

480.1 *Mesure de la variation propre de tension*

Le convertisseur doit être alimenté sous la tension nominale, le courant de réglage du transducteur, l'angle de retard, etc., doivent être fixés à une valeur spécifiée. La tension et le courant continus seront mesurés pour plusieurs valeurs de ce dernier.

480.2 *Mesure des pertes*

Si l'on n'a pas choisi l'essai à pertes séparées, le rendement devra être déterminé par la mesure des puissances d'entrée et de sortie dans les conditions de charge pour lesquelles sa valeur est spécifiée.

Pour les conditions de charge avec facteur de conversion spécifié, on doit déterminer ce dernier par mesure de la puissance de sortie c.c.

480.3 *Mesure du facteur de puissance*

D'une façon générale, il n'y a pas lieu de mesurer le facteur de puissance de ces convertisseurs.

Si, toutefois, sa mesure est demandée, il sera déterminé en tant que facteur de puissance de l'onde fondamentale ($\cos \varphi$) et sera mesuré par les méthodes habituelles des $\cos \varphi$ -mètres ou calculé à partir des mesures d'impédances.

480. Tests on small convertor equipments

For small convertor equipments, 300 kW and less, and rated direct current not exceeding 5 000 A, and delivered as integrally assembled units, the tests may, when practicable or stipulated by common agreement between user and supplier, be made as a full load test.

The tests shall comprise the following items, except the optional type tests (marked with (x)) which shall be made only if specifically agreed in the contract.

	Type test	Routine test	Specifications
Measurement of the inherent voltage regulation	x		Sub-clause 480.1
Insulation test	x	x	Sub-clause 492.1
Power loss measurement	x		Sub-clause 480.2
Power factor measurement	x		Sub-clause 480.3
Temperature rise test	x		Sub-clause 480.4
Load test	(x)		Sub-clause 492.7
Checking the properties of the trigger equipment (for thyristor convertors only)	x	x	Sub-clause 492.8
Checking the co-ordination of protective devices	x	x	Sub-clause 492.9
Checking properties under unusual service conditions	(x)		Sub-clause 492.10
Checking properties of incorporated stabilization means	x	x	Sub-clause 492.11

480.1 *Measurement of the inherent voltage regulation*

The convertor shall be supplied with rated alternating voltage. Transducer control current, delay angle, etc., shall be set at a specified value and direct voltage and direct current measured while the direct current is varied.

480.2 *Power loss measurements*

For those load conditions for which efficiency is specified, the efficiency shall be determined by measuring input and output power if segregated loss tests are not chosen.

For those load conditions for which conversion factor is specified, this shall be determined by measuring a.c. power and d.c. output.

480.3 *Power factor measurements*

As a rule, power factor measurements need not be carried out for these convertors.

However, if a power factor measurement is required, it shall be determined as power factor of the fundamental wave ($\cos \phi$) and measured by the conventional power factor meter method, or by calculation from impedance measurements.

480.4 **Essai d'échauffement**

L'échauffement sera mesuré au cours de l'essai en charge correspondant aux conditions de charge nominale pour laquelle le convertisseur a été prévu, ou au cours de l'essai en court-circuit.

490. **Essais des blocs de thyristors et des groupes convertisseurs**

491. **Généralités**

Tous les dispositifs et éléments à semiconducteurs, ainsi que les transformateurs et les autres constituants du convertisseur, doivent être soumis à des essais individuels avant le montage du groupe.

Les essais individuels doivent être effectués sur tous les convertisseurs, sauf convention contraire avant la commande.

Les essais de type doivent être effectués afin de s'assurer que le matériel est bien conforme aux exigences spécifiées par cette recommandation.

Les essais doivent être réalisés dans des conditions équivalentes à celles qui existeront pendant le fonctionnement réel. Si cela n'est pas praticable, les blocs et les équipements doivent être soumis respectivement à des essais dans des conditions qui permettent de vérifier les performances spécifiées.

Lors de l'essai d'un groupe, le bloc et les autres constituants du groupe peuvent être essayés séparément si cela est plus commode. Lorsqu'ils font l'objet d'essais séparés, les éléments ou blocs doivent être alimentés par un transformateur dont le couplage est équivalent à celui spécifié dans le contrat.

Sauf accord contraire lors de la commande, la source d'alimentation à courant alternatif ainsi que les tensions d'essai doivent être à fréquence nominale, sauf toutefois pour l'essai d'isolement, qui peut être fait à toute fréquence appropriée (au choix du constructeur) comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

Pour l'exécution et la classification des essais, voir également les articles 140 et 141.

Sauf convention contraire, l'ensemble des essais doit comprendre tous les essais suivants, à l'exception des essais en charge (paragraphe 492.7) et la vérification des propriétés dans des conditions de service inhabituelles (paragraphe 492.10), qui sont des essais de type facultatif (x) à faire seulement s'ils sont spécifiés dans le contrat.

Pour les convertisseurs de faible puissance, les essais peuvent être effectués comme défini dans l'article 480.

	Essai de type	Essai individuel	Spécifications
Essai d'isolement	x	x	paragraphe 492.1
Essai à faible charge	x	x	paragraphe 492.2
Essai de courant	x		paragraphe 492.3
Vérification des auxiliaires	x	x	paragraphe 492.4
Détermination des pertes	x		paragraphe 492.5
Essai d'échauffement	x		paragraphe 492.6
Essai en charge	(x)		paragraphe 492.7
Vérification des propriétés du dispositif de commande	x	x	paragraphe 492.8
Vérification de la coordination des protections	x	x	paragraphe 492.9
Vérification des propriétés dans des conditions de service inhabituelles	(x)		paragraphe 492.10
Vérification des propriétés du système de stabilisation incorporé	x	x	paragraphe 492.11

480.4 *Temperature-rise tests*

Temperature rises shall be measured during load test, corresponding to the rated load conditions for which the convertor is designed, or during a short-circuit current test.

490. **Tests for thyristor assemblies and thyristor convertor equipments**

491. **General**

All semiconductor devices, transformers and other components of the convertor shall be routine tested before the assembly into a convertor.

All convertors shall be routine tested before delivery unless otherwise agreed before the order.

Type tests shall be carried out to verify that the product will meet the requirements of this recommendation.

The tests shall be performed in electrical conditions equivalent to those in real service. If this is not practicable, the assemblies and equipments respectively have to be tested under those conditions which allow the specified performance to be proved.

In equipment tests, the assembly and other items of the equipment may be tested separately if this is more convenient. When tested separately, the stack or assembly shall be supplied from a transformer with a connection equivalent to that specified for the contract.

Unless otherwise agreed at the time of making the contract, the a.c. supply and test voltages should be of rated frequency except for the insulation test, which may be of any convenient frequency (at the manufacturer's choice) between 15 Hz and 100 Hz.

For the performance and classification of tests, see also Clauses 140 and 141.

The tests shall unless otherwise agreed comprise all the following items except load test (Sub-clause 492.7) and checking of properties under unusual service conditions (Sub-clause 492.10) which are optional type tests (x) to be made only if specifically agreed in the contract.

For small convertor equipments, the tests may be performed as specified in Clause 480.

	Type test	Routine test	Specifications
Insulation test	x	x	Sub-clause 492.1
Light-load test	x	x	Sub-clause 492.2
Current test	x		Sub-clause 492.3
Checking of auxiliary devices	x	x	Sub-clause 492.4
Power loss determination	x		Sub-clause 492.5
Temperature rise test	x		Sub-clause 492.6
Load test	(x)		Sub-clause 492.7
Checking properties of trigger equipment	x	x	Sub-clause 492.8
Checking co-ordination of protective devices	x	x	Sub-clause 492.9
Checking properties under unusual service conditions	(x)		Sub-clause 492.10
Checking properties of incorporated stabilization means	x	x	Sub-clause 492.11

492. Spécifications des essais

492.1 Essais d'isolement

492.1.1 Généralités

Les essais d'isolement ont pour but de vérifier l'état correct de l'isolation d'une unité complètement assemblée. En général, ils sont réalisés à la fin des essais. Les auxiliaires, s'il y en a, soumis à une tension d'essai d'isolement plus faible que celle spécifiée au paragraphe 492.1.4, doivent être déconnectés lors de l'essai d'isolement; cela peut s'appliquer par exemple aux moteurs, ventilateurs et équipement de mesure. Néanmoins, cela ne s'applique pas aux auxiliaires qui dirigeraient la tension dans le cas d'un défaut d'isolement, vers des composants accessibles non connectés à la masse, ou du côté haute tension vers le côté basse tension. Ces auxiliaires sont, par exemple, des transformateurs d'impulsions et des transformateurs de mesure, qui ont une tension d'isolement égale à celle des constituants du circuit principal.

Les bornes principales des blocs convertisseurs, aussi bien que les bornes d'anode, cathode et gâchette de tous les dispositifs semiconducteurs, doivent être connectées entre elles.

Les appareils de coupure et de contrôle des circuits principaux doivent être fermés ou court-circuités. Les auxiliaires qui ne sont pas en liaison métallique avec les circuits principaux (par exemple, l'équipement de contrôle, moteurs et ventilateurs) doivent être connectés à la masse lors de l'essai d'isolement comme spécifié dans les paragraphes 492.1.3, a) et b). Lors de l'essai d'isolement, les ensembles logés dans une enveloppe isolante doivent être couverts d'une feuille métallique. La feuille est considérée comme l'enveloppe pour ces recommandations d'essai.

Dans le cas d'enveloppes de grande dimension où il n'est pas possible de couvrir le couvercle avec une feuille métallique, une couverture partielle sera réalisée aux points qui sont considérés dangereux.

La tension d'essai à la fréquence nominale, mais n'excédant pas 100 Hz, est appliquée selon le paragraphe 492.1.2. La tension d'essai sera augmentée continuellement jusqu'à la valeur maximale dans un temps minimal de 10 secondes, ou en échelons maximaux de 5 % de la pleine valeur, en commençant à un maximum de 50 % de la pleine valeur. L'unité en essai doit supporter la tension d'essai pendant une minute. L'essai n'est pas probant s'il y a eu une perforation ou un contournement.

Si l'essai en tension alternative ne peut pas être réalisé à cause de constituants ne pouvant être déconnectés et réduisant le niveau d'épreuve, un essai en tension continue ayant la même valeur que la tension de crête de la formule donnée au paragraphe 492.1.4 peut être utilisé.

492.1.2 Essai d'isolement des groupes convertisseurs avec des parties installées séparément

Toutes les parties de l'équipement doivent être vérifiées avant livraison selon les recommandations correspondantes. L'équipement de convertisseur complet sera vérifié seulement pour l'isolement des connexions (par exemple, en mesurant la résistance de l'installation).

492.1.3 Essai d'isolement des groupes convertisseurs montés dans une seule enveloppe

- a) Essai d'isolement des constituants connectés métalliquement au bloc, par rapport à l'enveloppe par rapport au côté réseau du transformateur de convertisseur avec enroulements séparés, s'il y en a. Dans ce cas la tension d'essai, selon le paragraphe 492.1.4. a), est appliquée entre les bornes à courant continu connectées entre elles et à l'enveloppe. Les bornes côté réseau du transformateur de convertisseur avec enroulements séparés, s'il y en a, doivent être connectées entre elles et à l'enveloppe.
- b) Essai d'isolement des constituants connectés métalliquement au côté réseau par rapport à l'enveloppe si un transformateur de convertisseur avec des enroulements séparés est utilisé. Dans ce cas la tension d'essai, selon le paragraphe 492.1.4. b), est appliquée entre les bornes côté réseau connectées entre elles et l'enveloppe. Les bornes à courant continu doivent être connectées entre elles et à l'enveloppe.

492. Test specifications

492.1 Insulation tests

492.1.1 General

Insulation tests are carried out to verify the correct state of insulation of a completely assembled unit. In general, they shall be carried out at the end of the tests. The auxiliaries, if any, the insulating test voltage of which is lower than the voltage specified in Sub-clause 492.1.4 shall be disconnected during the insulation test, this may apply, e.g. to motors or fans and to measuring instruments. This does not apply, however, to auxiliaries for which, in case of an insulation fault, voltage may pass on to accessible parts not connected to the housing or from the side of higher voltage to the side of lower voltage. These are, e.g. auxiliary transformers, transducers, pulse transformers and instrument transformers, the insulation stress of which is equal to the parts of the main circuit.

The main terminals of the convertor assemblies, as well as the anode, cathode and gate terminals of all semiconductor devices, shall be connected with each other.

Switchgear and control gear in main circuits shall be closed or bridged. Auxiliaries not metallically connected to main circuits (e.g., system control equipment, motors of fans) shall be connected with the housing during the insulation test according to Sub-clause 492.1.3, a) and b). During the insulation tests, units with housings consisting of insulating material shall be covered with metal foil. The foil is regarded as housing when performing these tests.

If in case of big housings a complete covering of the housing with a metal foil is not possible, a partial covering shall be applied at those spots which are supposed to be endangered.

The test voltage with the rated frequency, but not exceeding 100 Hz, is applied according to Sub-clause 492.1.2. The test voltage shall be increased to the full value in not less than 10 seconds continuously, or in maximum steps of 5% of the full value, starting at a maximum of 50% of the full value. The unit on-test shall withstand the specified test voltage for one minute. The test has failed if a breakdown or a flashover occurs.

If an alternating test voltage cannot be applied due to components reducing the RFI level which cannot easily be disconnected, a direct test voltage may be used having the same value as the crest value of the test voltage given by the formula in Sub-clause 492.1.4.

492.1.2 Insulation test of convertor equipments with parts installed separately

All equipment parts are to be tested before delivery according to the recommendations concerned. The complete convertor equipment shall be tested only with reference to the insulation of the connections (e.g. by measuring the installation resistance).

492.1.3 Insulation tests of convertor equipments arranged in a single housing

- a) Insulation test of the components, metallically connected to the assembly, against the housing as well as against the line side of a convertor transformer with separate windings, if any. Here the test voltage, in accordance with Sub-clause 492.1.4.a), is applied between the housing and the d.c. terminals connected with each other. The line-side terminals of a convertor transformer with separate windings, if any, shall be connected with each other and with the housing.
- b) Insulation test of the components, metallically connected to the line side against the housing, if a convertor transformer with separate windings is used. Here the test voltage, in accordance with Sub-clause 492.1.4.b), is applied between the housing and the line-side terminals connected with each other. The d.c. terminals shall be connected with each other and with the housing.

- c) Essai d'isolement des auxiliaires non en connexion métallique avec le côté réseau ou avec le bloc convertisseur (par exemple, équipement de contrôle, moteurs, ventilateurs). Ici la tension d'essai, selon le paragraphe 492.1.4. c), est appliquée entre les bornes des auxiliaires, connectées entre elles et à l'enveloppe.

492.1.4 Tensions d'essai

- a) L'essai selon le paragraphe 492.1.3. a) est réalisé avec une tension d'essai efficace égale à

$$U_p = 2 \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} + 1\,000\text{ V}$$

mais à 2 000 V minimum, où U_m est la valeur maximale de la tension de crête supposée entre n'importe quelle paire de bornes. Si la tension par rapport à la terre peut être plus élevée qu'entre deux bornes (par exemple avec des connexions en série d'équipements de convertisseur), cette tension plus élevée doit être appliquée. Si le quotient

$$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

n'excède pas 90 V, la tension d'essai peut être réduite à 1 000 V.

Pour des convertisseurs de tension continue nominale supérieure à 1 000 V, une tension d'essai plus faible que celle spécifiée par la formule peut être acceptée, en accord avec d'autres publications de la CEI.

- b) L'essai selon le paragraphe 492.1.3. b) est réalisé avec une tension d'essai selon l'essai répétitif spécifié dans la Publication 76 de la CEI pour le transformateur de convertisseur.
c) L'essai selon le paragraphe 492.1.3. c) est réalisé avec une tension d'essai selon l'essai répétitif pour les auxiliaires, en accord avec la publication correspondante de la CEI.

Si pour des applications spéciales, d'autres tensions d'essai, plus élevées ou plus basses, sont recommandées dans différentes publications de la CEI ou autres recommandations internationales, celles-ci doivent être appliquées.

492.2 Essai à faible charge

Cet essai est effectué dans le but de vérifier que le groupe est monté correctement et que les caractéristiques de sa régulation statique sont conformes à la demande.

Le groupe doit être raccordé à un réseau à courant alternatif dont la tension est égale à la tension nominale majorée de l'écart de tension spécifié.

Pendant l'essai, la tension alternative, la tension continue, le courant alternatif et le courant continu doivent être mesurés. En outre, l'impulsion de commande provoquant le réglage ou la stabilisation, s'il y a lieu, doit être mesurée en faisant varier la tension continue dans toute la gamme pour laquelle le convertisseur est prévu.

Au cours de l'essai, on contrôlera le fonctionnement du dispositif de commande s'il en existe ainsi que celui des auxiliaires. Si les bras du convertisseur comportent des dispositifs semi-conducteurs montés en série, on vérifiera la bonne répartition des tensions.

492.3 Essai de courant

L'essai est effectué dans le but de vérifier que le groupe fonctionne convenablement à son courant nominal.

Les bornes à courant continu sont court-circuitées et l'on applique aux bornes à courant alternatif une tension alternative de valeur suffisante pour provoquer le passage dans les bornes à courant continu d'un courant au moins égal au courant continu permanent nominal.

Au cours de cet essai, l'équipement de commande s'il en existe et les auxiliaires sont alimentés séparément à leur tension nominale.

- c) Insulation test of the auxiliaries not metallically connected to the line side or the convertor assembly (e.g., system control equipment, motors of fans). Here the test voltage, in accordance with Sub-clause 492.1.4.c), is applied between the housing and the terminals of the auxiliaries connected with each other.

492.1.4 Test voltages

- a) The test according to Sub-clause 492.1.3.a) is performed with a test voltage with an r.m.s. value of:

$$U_p = 2 \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} + 1\,000\text{ V}$$

but at least 2 000 V, where U_m is the highest crest voltage to be expected between any pair of terminals. If the voltage to ground may be higher than between two terminals (e.g. with series connection of convertor equipments), this higher voltage is to be applied. If the quotient

$$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

does not exceed 90 V, the test voltage may be reduced to 1 000 V. For convertors, the rated direct voltage of which is higher than 1 000 V, a test voltage lower than that specified by the formula may be agreed with in accordance with other IEC Publications.

- b) The test, according to Sub-clause 492.1.3. b), is performed with a test voltage corresponding to the repetition test specified in IEC Publication 76 for the convertor transformer.
c) The test, according to Sub-clause 492.1.3. c), is performed with a test voltage corresponding to the repetition test for the applied auxiliary components in accordance with the relevant IEC Publication

If in different IEC or other international recommendations for special applications higher or lower test voltages are recommended, these should be applied.

492.2 Light-load test

The test is carried out to verify that the equipment is correctly connected and that its static control properties fulfil the requirements.

The equipment shall be connected to an a.c. supply with a voltage equal to the rated voltage plus the voltage variation specified.

During the test, the alternating voltage, the direct voltage, the alternating current and the direct current shall be measured. In addition, the control signal causing adjustment or stabilization, if any, shall be measured when varying the direct voltage over the entire range for which the convertor is designed.

The function of the trigger equipment if any and auxiliary devices shall be checked during the test. If series-connected semiconductor devices are used in the arms of the convertor, the voltage division shall be checked.

492.3 Current test

The test is carried out to verify that the equipment will operate satisfactorily at rated current.

The d.c. terminals shall be short-circuited and an alternating voltage of sufficient value to cause at least rated continuous direct current to flow shall be connected to the a.c. terminals of the convertor.

During the test, the control equipment if any and auxiliaries have to be supplied separately with rated voltage.

Par une coordination convenable du réglage, s'il en existe, et de la valeur de la tension alternative d'alimentation, on fait passer le courant nominal permanent dans les bornes courant continu, et l'on vérifie que son fonctionnement est correct. Si les bras comportent des dispositifs montés en parallèle, on devra vérifier la bonne répartition du courant. Cette vérification peut être faite, soit en mesurant les courants, soit les chutes de tension, par exemple aux bornes des fusibles, soit en mesurant la température des dispositifs semiconducteurs à un point de référence.

Si c'est plus pratique, l'essai de courant pourra être remplacé par un essai à pleine charge avec alimentation en courant alternatif à la tension nominale.

492.4 *Vérification des organes auxiliaires*

On devra vérifier le fonctionnement des organes auxiliaires tels que contacteurs, pompes, ventilateurs, etc. Quand cela sera commode, cette vérification pourra être faite au cours de l'essai à faible charge.

492.5 *Détermination des pertes*

Les pertes dans le bloc convertisseur peuvent être déterminées soit par des calculs basés sur des caractéristiques vérifiables, soit par des mesures directes.

La mesure des pertes est faite si cela est praticable lorsque le convertisseur travaille en redresseur.

Lors de cet essai, on pourra employer, au choix du constructeur, soit le transformateur du groupe, soit un transformateur d'essai. Si l'on emploie le transformateur du groupe, on mesurera les pertes du groupe complet.

Si l'on n'emploie pas le transformateur du groupe, le transformateur doit avoir les mêmes indices de pulsation et de commutation que le transformateur du groupe. Dans ce cas, on ne mesurera que les pertes du bloc d'éléments thyristors ainsi que celles du dispositif de commande. Les pertes du transformateur seront mesurées à part, conformément à l'article 542.

Les pertes du convertisseur seront mesurées au cours de l'essai à faible charge et de l'essai en court-circuit. Les pertes totales du convertisseur sont la somme des pertes mesurées au cours de ces deux essais.

492.5.1 *Mesure des pertes à faible charge*

Si c'est matériellement possible, l'essai est effectué lorsque le convertisseur fonctionne en redresseur. Le convertisseur sera raccordé à un réseau à courant alternatif à la tension nominale et à une charge résistive côté courant continu.

L'essai sera effectué à la tension de phase continue (obtenue par réglage) pour laquelle le rendement doit être mesuré et à un courant qui ne sera pas inférieur à celui qui est nécessaire pour éviter la brusque remontée de tension à vide du convertisseur.

On mesure la puissance d'entrée en courant alternatif, y compris celle consommée par le dispositif de commande et par les auxiliaires dont les pertes ne sont pas sensiblement influencées par la charge du convertisseur et doivent être comprises dans le calcul du rendement.

On mesure également la puissance de sortie au moyen d'un wattmètre. Les pertes à faible charge sont égales à la puissance d'entrée en courant alternatif diminuée de la puissance de sortie ainsi mesurée.

Les pertes à vide sont égales aux pertes mesurées à faible charge diminuées des pertes du convertisseur provenant du courant de charge, calculées à partir du courant mesuré, la tension de seuil et les résistances mesurées des circuits (les pertes parasites additionnelles sont négligées).

By proper co-ordination of control if any and applied alternating voltage, rated continuous current shall be caused to flow through the d.c. terminals and a check made of its proper operation. If parallel-connected devices are used in the arms, the current division shall be checked. This may be done by current measurements, by voltage drop measurements, e.g. at fuses, or by measurements of the temperature of the semiconductor devices at a reference point.

When it is more convenient, the current test may be replaced by a full-load test at rated alternating voltage.

492.4 *Checking of auxiliary devices*

The function of auxiliary devices such as contactors, pumps, fans, etc., shall be checked. If convenient, this can be done in conjunction with the light-load test.

492.5 *Power loss determination*

Losses in the convertor assembly may be determined either by calculations based on characteristics that can be verified or by direct measurements.

If practicable, power loss measurements shall be made with the convertor operating as a rectifier.

The convertor transformer or a test transformer may be used for the test, at the choice of the manufacturer. If the convertor transformer is used, the power losses of the complete convertor shall be measured.

If the transformer designed for the convertor is not used, the transformer used shall have the pulse and commutation number for which the convertor is designed. In this case, only the losses in the thyristor assembly and in the trigger equipment will be measured during the power loss tests. The transformer losses have to be measured separately according to Clause 542.

The power losses of the convertor shall be measured during a light-load test and a short-circuit test. The total losses of the convertor is the sum of the no-load losses and short-circuit losses calculated from these tests.

492.5.1 *Light-load power loss measurements*

If practicable, the test shall be carried out with the convertor operating as a rectifier. The convertor shall be connected to an a.c. supply with a voltage equal to the rated voltage and to resistive load on the d.c. side.

The test shall be carried out at the direct voltage for which the efficiency is to be determined (adjusted by phase control) and with a current through the convertor not lower than is necessary to avoid the light-load voltage rise of the convertor.

The input a.c. power to the convertor shall be measured, including all trigger equipment and auxiliaries, the losses of which are to be included when calculating the efficiency and whose losses are not significantly dependent upon the load of the convertor.

The output power is to be measured by a wattmeter. The light-load power losses are equal to the input a.c. power minus the output power as so measured.

The no-load power losses are equal to the measured light-load power losses minus the power losses in the convertor circuit because of load current, calculated from the measured direct current, the threshold voltages and measured resistances of the circuit (eddy current losses neglected).

492.5.2 *Mesure des pertes en court-circuit*

Si c'est matériellement possible, l'essai doit être effectué lorsque le convertisseur fonctionne en redresseur en court-circuit. Le court-circuit doit être fermé sur une inductance d'une valeur suffisante pour que les harmoniques du courant redressé soient sensiblement les mêmes que ceux qui sont prévus dans les conditions de charge pour lesquelles la valeur du rendement est demandée. L'adjonction d'une petite résistance peut être nécessaire afin d'obtenir une tension suffisante pour que les thyristors restent amorcés.

L'essai doit être fait pour l'intensité de courant continu pour laquelle la valeur du rendement est demandée et avec la combinaison de tension alternative d'alimentation et de réglage de phase qui assure, au cours de l'essai, le même angle d'empiètement que celui qui est prévu dans les conditions de charge pour lesquelles la valeur du rendement est demandée.

Au cours de l'essai, le dispositif de commande et les dispositifs auxiliaires doivent être alimentés à part sous la tension nominale et leurs pertes ne sont pas comprises dans les pertes en court-circuit.

Les pertes produites au cours de l'essai en court-circuit sont égales à la puissance fournie par l'alimentation en courant alternatif, corrigées pour tenir compte des pertes dans le fer du transformateur, déduction faite de la puissance dépensée dans la liaison de court-circuit côté continu, calculée d'après les valeurs moyennes de courant et de tension continus.

S'il y a accord entre l'utilisateur et le fournisseur ou si le convertisseur n'est pas prévu pour fonctionner dans les conditions décrites ci-dessus, la mesure des pertes en court-circuit devra être faite avec un angle de retard nul, conformément à la méthode donnée dans l'article 472.

492.6 *Essai d'échauffement*

L'échauffement des dispositifs à semiconducteurs doit être déterminé dans les conditions d'essai données pour la mesure de courant dans les conditions nominales de refroidissement les plus défavorables.

On mesurera l'échauffement en un point spécifié et le résultat doit être utilisé pour vérifier que la détermination du système de refroidissement est correcte.

L'essai doit être réalisé pour plusieurs dispositifs, y compris ceux qui doivent fonctionner à la plus haute température.

Note. — Ce qui précède suppose que les pertes des dispositifs à semiconducteurs dues aux courants de fuite sont négligeables.

492.7 *Essai en charge*

L'essai en charge doit être réalisé seulement s'il y a un accord spécial dans le contrat, et peut remplacer l'essai d'échauffement.

L'essai doit être réalisé de la même manière que l'essai de courant à basse tension (paragraphe 492.3). Si nécessaire, on court-circuitera les bornes à courant continu par une bobine d'inductance. La coordination du réglage de phase de la tension alternative appliquée et de la bobine d'inductance, s'il y en a, doit être telle que le courant ondulé superposé sur le courant continu corresponde le plus possible à celui prévu en service. Toutes les conditions de fonctionnement qui peuvent influencer le résultat de l'essai, y compris les conditions de refroidissement et altitude, doivent être identiques ou équivalentes à celles spécifiées pour le courant nominal.

On appliquera un courant continu d'amplitudes, durées et séquences de charge spécifiées dans le paragraphe 463.3.

L'élévation de la température à un point spécifié des dispositifs à semiconducteurs doit être notée. L'élévation de la température virtuelle de la jonction doit être calculée par la méthode donnée à l'article 653 et basée sur des mesures de température pour montrer que le bloc est capable de supporter la charge spécifiée sans dépasser la température maximale virtuelle de jonction.

492.5.2 *Short-circuit power loss measurements*

If practicable, the test shall be carried out with the convertor operating as a rectifier in short-circuit. The short-circuit connection shall if necessary include an inductance chosen such that the ripple current superimposed on the direct current becomes about the same as is expected at those load conditions for which the efficiency is to be determined. Inclusion of a small resistance may also be necessary to ensure enough voltage for the thyristors to become conducting.

The test shall be carried out at the direct current for which the efficiency is to be determined and with such a combination of supply alternating voltage and phase control that the overlap during the test becomes about the same as the overlap anticipated at those load conditions for which the efficiency is to be determined.

During the test, the trigger equipment and auxiliaries have to be supplied separately with rated voltage and their losses are not included in the short-circuit losses.

The power losses of the convertor at short-circuit are equal to the power supplied from the a.c. supply at the short-circuit test, corrected for core losses in convertor transformer, if existing, and the power losses in the short-circuit connections on the d.c. side, as determined from measurements of mean values of direct current and direct voltage.

If agreed between the user and the supplier or if the convertor is not designed to operate under the conditions given above, the short-circuit power loss measurements shall be made at short-circuit and delay angle zero, according to the methods given in Clause 472.

492.6 *Temperature-rise test*

The temperature rise of the semiconductor devices shall be determined under the test conditions given for the current test and under rated cooling conditions least favourable.

The temperature rise shall be measured at a specified point and the result shall be used to verify the design intention of the cooling system.

The test shall be performed for several of the devices including those operating at highest temperature.

Note. – This assumes that the losses in the semiconductor devices due to leakage currents are negligible.

492.7 *Load test*

Load test shall be made only if specifically agreed in the contract, and may substitute the temperature-rise test.

The test is to be performed in the same manner as the current test at low voltage (Sub-clause 492.3). When necessary, the d.c. terminals are short-circuited over a smoothing reactor. The co-ordination of phase control, applied alternating voltage and the smoothing reactor if included shall be made so that the ripple current superimposed on the direct current corresponds as near as possible to those expected in service. All service conditions that may have influence on the test result including cooling conditions and altitude shall be identical with or equivalent to those specified for the rated current.

Direct current shall be applied with amplitudes, durations and load sequences as specified in Sub-clause 463.3.

The temperature rise at a specified point on the semiconductor devices shall be recorded. The rise of virtual junction temperature shall be calculated by the method given in Clause 653 and based on the temperature measurements in order to show that the assembly is capable of supporting the specified load duty without exceeding maximum virtual junction temperature for the devices.

492.8 *Vérification des propriétés du dispositif de commande*

Il n'est pas possible d'essayer de vérifier les propriétés du dispositif de commande dans toutes les conditions de charge qui peuvent se présenter. Il est cependant recommandé de vérifier le dispositif de commande, autant que possible, dans les conditions de charge réelles. Quand cela ne peut avoir lieu dans les locaux du constructeur, cela pourra l'être après installation, avec accord de l'utilisateur.

Quand elle est réalisable, la vérification des dispositifs de commande peut être limitée aux conditions de charge spécifiées aux paragraphes 492.2 et 492.3.

Dans les autres cas, les propriétés statiques et dynamiques du dispositif de commande doivent être contrôlées. Ce contrôle comprend la vérification du fait que le dispositif de commande fonctionne de façon satisfaisante pour toutes les valeurs de la tension alternative d'alimentation comprises dans la gamme des écarts de tension pour lesquels le groupe est prévu.

Etant donné les nombreuses variantes existantes de dispositifs de commande, on ne peut établir une marche à suivre simple permettant de vérifier leurs propriétés.

Les propriétés dynamiques peuvent être vérifiées par un essai analogue.

492.9 *Vérification de la coordination des dispositifs de protection*

La vérification de la coordination des dispositifs de protection doit être faite, autant que possible, sans fatiguer les constituants du groupe au-delà de leurs courants nominaux de surcharge.

En raison de la grande variété des dispositifs de protection et de leurs combinaisons, il n'est pas possible d'établir de règles générales pour vérifier leur coordination. Cependant, si un dispositif de commande est prévu pour assurer la protection du convertisseur contre les surcharges de courant, on devra vérifier qu'il en est capable.

492.9.1 Si l'on juge nécessaire d'effectuer des essais de type pour vérifier l'efficacité de la protection par les fusibles, ils devront faire l'objet d'un accord entre utilisateur et fournisseur et les conditions de ces essais devront être spécifiées.

492.9.2 On vérifiera par essais individuels le fonctionnement des dispositifs de protection. Cela ne signifie cependant pas que le fonctionnement d'organes tels que les fusibles, etc., qui ne peuvent fonctionner sans destruction devra être vérifié.

492.10 *Vérification des propriétés dans des conditions de service inhabituelles*

Si le groupe est destiné à travailler dans des conditions de service inhabituelles (voir article 135) dûment spécifiées, on devra vérifier qu'il en est capable, si toutefois il en a été ainsi convenu lors de la commande. Un essai du groupe complet peut être d'un prix excessif. Un essai partiel (essai des éléments constituants critiques) peut suffire.

492.11 *Vérification des propriétés du système de stabilisation incorporé*

Pour les groupes comprenant un système de stabilisation d'une grandeur de sortie (par exemple tension continue, courant continu) incorporé, on doit en vérifier les caractéristiques statiques et dynamiques (article 660). L'essai doit être réalisé pour vérifier si les données du cahier des charges sont remplies.

492.8 *Checking the properties of the trigger equipment*

It is not feasible to try to verify the properties of the trigger equipment under all those load conditions which may prevail in real operation. However, it is recommended that trigger equipment should be checked under real load conditions as far as possible. When this cannot be done on the manufacturer's premises, it can be performed after installation by agreement with the user.

When practicable, the checking of trigger equipment may be restricted to a check under two load conditions as specified by Sub-clauses 492.2 and 492.3 respectively.

In either case the static and dynamic properties of the trigger equipment shall be checked. This shall include checking that the equipment operates satisfactorily for all values of supply voltages within the range of variation for which it is designed.

Due to the many possible variants of phase shifting circuits, it is not possible to state simple procedures for checking of the properties of the trigger equipments.

The dynamic properties may be checked by means of a similar test.

492.9 *Checking the co-ordination of protective devices*

Checking the co-ordination of protective devices shall be done so far as is possible without stressing the components of the equipment above its rated overload currents.

Due to the wide variety of protective devices and their combinations, it is not possible to state any general rules for the checking of this co-ordination. However, if a system control equipment is designed to protect the convertor from current overloads, its ability in this respect shall be checked.

492.9.1 Type tests to test the efficacy of fuse protection, if felt necessary, shall be agreed between the user and supplier and the conditions specified.

492.9.2 Routine tests shall be performed to check the operation of protective devices. It is, however, not intended that the operation of devices such as fuses, etc., where the operation is based on destruction of the operating component, shall be checked.

492.10 *Checking properties under unusual service conditions*

If the equipment is designed to operate under any unusual service conditions (Clause 135) that have been specified, its ability to do so shall be checked if agreed at the time of making the contract. As a test of the complete equipment may cause unreasonable costs, a partial test (test of critical components) may be sufficient.

492.11 *Checking properties of incorporated stabilization means*

For those equipments in which means for stabilization of an output quantity (e.g. direct voltage, direct current) are included, the static and dynamic properties shall be checked (Clause 660). The test shall be performed to verify that the specifications are fulfilled.

CHAPITRE V : TOLÉRANCES

Si des garanties sont données, elles doivent se rapporter toujours aux valeurs et conditions nominales.

Les garanties ne sont pas nécessairement données sur toutes ou sur l'une quelconque des caractéristiques indiquées ci-dessous qui peuvent comporter, ou non, des tolérances, selon ce qui a été spécifié. Chacune de ces pratiques est conforme à la présente recommandation.

Si les caractéristiques garanties sont données avec des tolérances, les tolérances indiquées ci-dessous doivent être appliquées. Si les valeurs sont données sans tolérances, ce sont des valeurs maximales ou minimales, suivant le cas.

Article	Caractéristique	Tolérances
510	Pertes dans les blocs	+ 10 % de la valeur garantie
520	Pertes dans le transformateur et les inductances	+ 10 % de la valeur totale garantie
530	Rendement du groupe convertisseur	Les tolérances sur le rendement correspondent à +10 % des pertes avec une tolérance minimale sur le rendement de - 0,2 %
540	Facteur de déphasage calculé: $\cos \varphi$	- 0,2 (1 - $\cos \varphi$)
550 ¹⁾	Chute inductive de tension continue du transformateur	± 10 % de la valeur garantie
560 ¹⁾	Variation propre de tension	± 15 % de la variation de tension garantie
570 ¹⁾	Tensions continues mesurées ²⁾	± (1 V + 2 % de la tension continue nominale)
580 ¹⁾	Tensions continues mesurées ²⁾ en dessous de ou égales à 10 V	+ 10 % de la tension continue nominale

Notes 1. – Ces articles ne s'appliquent pas aux groupes monophasés.

2. – Pour les groupes munis d'un réglage automatique de la tension, la tolérance sur la tension continue doit être spécifiée à la passation du contrat.

CHAPTER V : TOLERANCES

If guarantees are given, they shall always refer to rated values and rated conditions.

It is not intended that guarantees shall necessarily be given upon all or any of the items shown below, but when such guarantees are given, they may be given either without tolerances or with tolerances, as may be specified. Either of these practices complies with this recommendation.

If guarantees are given with tolerances, the values stated below shall apply. If the guaranteed values are given without tolerances, they are maximum or minimum values, as the case may be.

Clause	Item	Tolerances
510	Assembly losses	+ 10 % of the guaranteed value
520	Losses of transformer and reactor equipment	+ 10 % of the total guaranteed value
530	Efficiency of the convertor equipment	Efficiency tolerance corresponding to + 10 % of the losses with a minimum efficiency tolerance of $\pm 0.2\%$
540	Calculated displacement factor: $\cos \varphi$	$- 0.2 (1 - \cos \varphi)$
550 ¹⁾	Inductive direct voltage drop U_{dxt} due to the transformer	$\pm 10\%$ of guaranteed value
560 ¹⁾	Inherent voltage regulation	$\pm 15\%$ of guaranteed regulation
570 ¹⁾	Measured direct voltages ²⁾ above 10 V	$\pm (1 \text{ volt} + 2\% \text{ of rated direct voltage})$
580 ¹⁾	Measured direct voltages ²⁾ below or equal to 10 V	+ 10 % of rated direct voltage

Notes 1. – These clauses do not apply to single-phase equipment.

2. – For equipments provided with automatic voltage control, the tolerance on the controlled voltage shall be specified at the time of making the contract.

CHAPITRE VI : PRESCRIPTIONS RELATIVES AU FONCTIONNEMENT ET DONNÉES D'APPLICATION

610. Montage en parallèle ou en série des diodes ou des thyristors

Lorsque des diodes ou des thyristors sont montés en série ou en parallèle, des précautions doivent être prises pour s'assurer que chaque dispositif fonctionne à sa tension nominale et à son courant nominal.

611. Equilibrage des courants des dispositifs montés en parallèle

Une répartition inégale de courant peut provenir de différences entre les chutes de tension directe à l'état passant et de différences entre les temps d'amorçage des thyristors. Des différences dans les impédances des bras en parallèle ont aussi une influence considérable.

Si un ajustage en usine des caractéristiques à l'état direct ou à l'état passant, et des propriétés de temps d'amorçage des dispositifs à semiconducteurs, est utilisé pour l'équilibrage des courants, cela doit être spécifié par le constructeur de l'équipement.

612. Répartition de tension des dispositifs montés en série

Une répartition inégale de tension peut provenir de différences entre les caractéristiques inverses et à l'état bloqué direct, de différences entre les temps d'amorçage des thyristors et de différences entre les charges de recouvrement.

620. Fonctionnement en parallèle ou en série des blocs et des équipements

621. Fonctionnement en parallèle

621.1 Groupes dépourvus de moyens de réglage de la tension continue

Dans le cas de groupes prévus pour fonctionner en parallèle par le constructeur, fonctionnant en parallèle dans des conditions analogues au même emplacement et alimentés par le même réseau à courant alternatif, le courant continu de chaque groupe ne doit pas différer de plus de 10% de la valeur correspondant à la répartition correcte, à 90% de la charge nominale. Les surcharges nominales doivent être supportées sans dommage par les groupes.

Si le groupe redresseur doit fonctionner en parallèle du côté continu avec d'autres sources de courant continu de caractéristiques différentes, les prescriptions pour la répartition de la charge doivent être spécifiées avant la passation de la commande.

621.2 Groupes pourvus de moyens de réglage de la tension continue

Au cas où ces groupes doivent fonctionner en parallèle du côté continu, les prescriptions relatives à la répartition de la charge doivent être spécifiées avant la passation de la commande.

622. Fonctionnement en série

Quand des blocs ou des équipements fonctionnent en série, on doit prendre des précautions pour s'assurer que chaque unité fonctionne dans ses limites de tension nominale, même si le côté alternatif est déconnecté et le côté continu encore connecté sur une charge active.

Dans le cas d'un fonctionnement en série, la tension par rapport à la terre peut être considérablement plus élevée que la tension entre bornes. Dans ce cas, l'isolement doit être prévu et essayé en conséquence.

CHAPTER VI : PERFORMANCE REQUIREMENTS AND APPLICATION INFORMATIONS

610. **Parallel or series connection of diodes or thyristors**

When diodes or thyristors are connected in series or parallel, precautions must be taken to ensure that every device operates within rated values for voltage and current.

611. **Current balancing of parallel connected devices**

Unequal current distribution may be caused by differences in forward voltage or on-state voltage drop and by differences in the turn-on moment for thyristors. Also differences in the impedances of the parallel arms are of considerable influence.

If factory matching of forward or on-state characteristics and turn-on time properties of the semiconductor devices is used for current balancing, this shall be stated by the equipment manufacturer.

612. **Voltage division for series connected devices**

Unequal voltage distribution may be caused by differences in reverse and off-state characteristics, differences in the turn-on moment for thyristors and differences in recovery charge.

620. **Parallel or series operation of assemblies and equipments**

621. **Parallel operation**

621.1 *Units not provided with means for direct voltage adjustment*

In the case of equipments intended for parallel operation by the manufacturer, operating under similar conditions and in parallel in the same location, fed by the same a.c. supply, the direct current of each equipment shall not differ by more than 10% from its correct share at 90% of rated load. The equipments shall be capable of carrying the rated overload without injury to the equipment.

If the rectifier equipment is required to operate in parallel on the d.c. side with other sources of direct current having dissimilar characteristics, the requirements for load sharing shall be specified before placing the order.

621.2 *Units provided with means for direct voltage adjustment*

For such equipments when required to operate in parallel on the d.c. side, the requirements for load sharing shall be specified before placing the order.

622. **Series operation**

When assemblies or equipments are operating in series, precautions have to be taken to ensure that each unit operates within its limits of rated voltages, even if the a.c. side is disconnected and the d.c. side is still connected to an active load.

In case of series operation, the voltage to ground may be considerably higher than the voltage between the terminals. In this case, the insulation has to be designed and tested accordingly.

630. **Auxiliaires des groupes redresseurs ou convertisseurs**

Les appareils auxiliaires tels que moteurs, dispositifs de commande, etc., montés dans les groupes doivent être conformes aux recommandations de la CEI applicables à ces appareils.

640. **Limites de tension pour une bonne commutation en fonctionnement onduleur**

Pour assurer une commutation parfaite, c'est-à-dire l'absence de décrochage (paragraphe 124.2), on devra considérer le courant continu maximal admissible, la tension continue maximale et la tension minimale du réseau à courant alternatif susceptibles de se produire simultanément. Il est nécessaire de tenir compte tant des conditions en régime transitoire que de celles en régime établi.

A moins qu'il n'en soit spécifié autrement, le convertisseur, lorsqu'il fonctionne en onduleur, doit pouvoir supporter tous les courants de surcharge correspondants à la classe de service, sans décrochage à 90% de la valeur nominale de la tension du réseau alternatif (article 462).

650. **Conditions de surcharge**

651. **Représentation des valeurs nominales de surcharges prévisibles**

Toutes les informations concernant les surcharges prévisibles admissibles doivent être fournies en fonction de l'amplitude du courant, des durées et de la fréquence de répétition ou des temps de repos. L'article 463 est basé sur ce principe.

Dans le cas où l'on ne trouve aucune classe normalisée appropriée dans le tableau III, les informations relatives aux surcharges peuvent être données de différentes façons. L'exemple donné dans les figures ci-dessous peut servir de modèle dans la présentation des surcharges prévisibles uniques ou répétitives.

Quand le courant de base I_b est inférieur à I_{dmN} , des surcharges de valeur I_{s0} peuvent être superposées pendant le temps t_p , mais seulement à des intervalles suffisamment longs pour assurer que les températures d'équilibre soient atteintes avant chaque surcharge.

Des surcharges prévisibles répétitives de valeur I_{r0} peuvent être superposées pendant le temps t_b avec des intervalles égaux à τ . On notera que le diagramme de surcharges répétitives donné dans l'exemple n'est valable que pour une seule valeur du courant de base I_b .

Quelle que soit la forme de représentation employée, les conditions de refroidissement doivent être spécifiées.

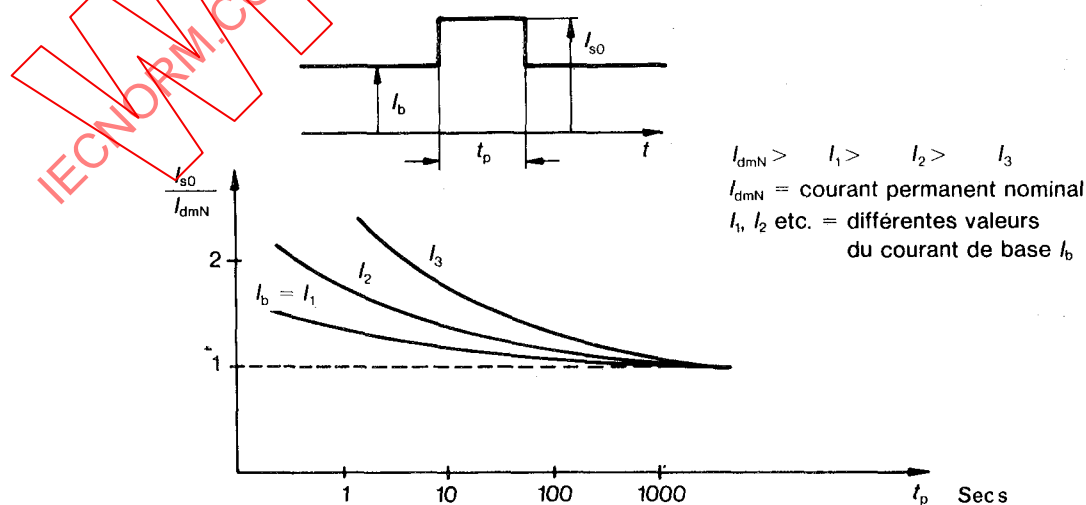


FIGURE 20a. — Surcharge prévisible unique.

630. **Auxiliaries to rectifier or convertor equipments**

Auxiliary apparatus such as motors, control gear, etc., fitted in the equipments shall comply with the appropriate IEC recommendations for the apparatus.

640. **Voltage limits for reliable commutation in inverter mode of operation**

To ensure perfect commutation, the non-occurrence of conduction-through (Sub-clause 124.2), the maximum admissible direct current, the highest direct voltage and the lowest a.c. system voltage which may occur simultaneously have to be considered. Both steady state and transient conditions have to be taken into consideration.

If not otherwise specified, the convertor, when operating as an inverter, shall be able to carry all rated current values according to the duty class, without conduction-through, with 90% of rated a.c. system voltage (Clause 462).

650. **Overload conditions**

651. **Presentation of rated overload current values**

All information of permissible overloads shall be given in terms of current amplitude, durations and repetition frequency or idle times. Clause 463 is based upon this principle.

In cases where no suitable standard duty class can be found in Table III, there are many possible ways in which overload information can be given. The example in the figures below may serve the purpose to introduce the basic approach of presentation in the case of single overloads and repetitive overloads.

When the base load current I_b is less than I_{dmN} , overloads of the value I_{s0} may be superimposed for the time t_p but only with long enough intervals to assure equilibrium temperatures to be obtained before each overload.

Repetitive overloads with the value I_{s0} may be superimposed for the time t_p with intervals equal to τ . It shall be noted that the diagram for repetitive overloads as given in the example is valid only for one single value of the base load I_b .

Whatever form of presentation is used, the cooling conditions shall be specified.

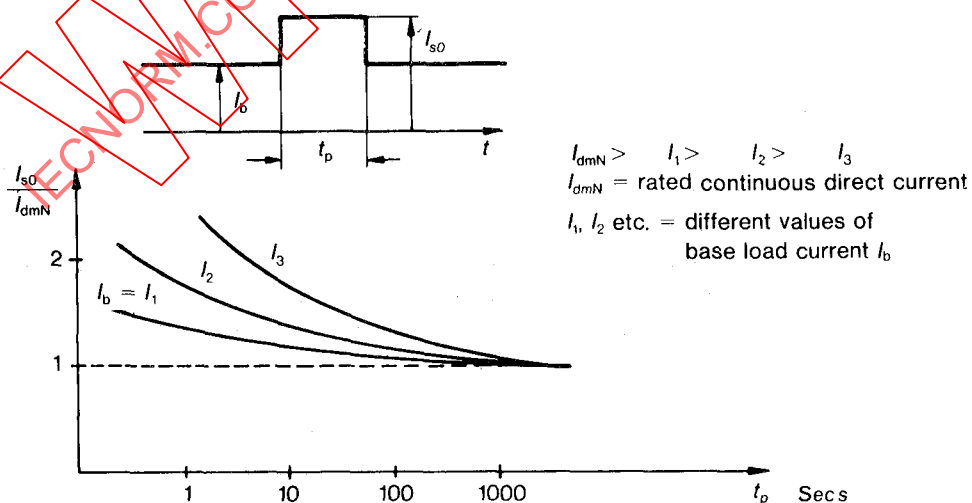


FIGURE 20a. — Single overload.

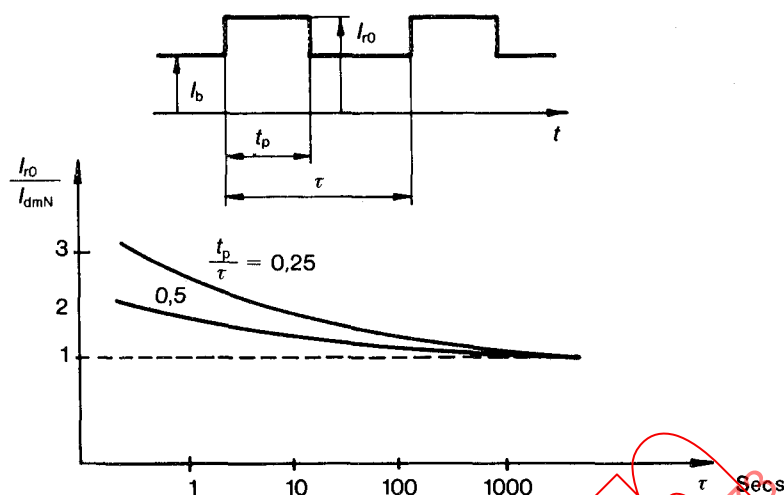


FIGURE 20b. — Surcharges prévisibles répétées

652. **Détermination des possibilités de surcharge par le calcul de la température virtuelle de jonction**

Voir l'annexe D.

660. **Stabilisation**

Un convertisseur peut comporter un système interne ou externe à boucle fermée, ou d'autres éléments de régulation incorporés pour la stabilisation d'une grandeur de sortie (tension, courant, puissance).

Si le convertisseur comporte un système interne de régulation à boucle fermée, la valeur de référence de ce système, qui peut être électrique, mécanique ou de toute autre nature, est introduite dans le convertisseur.

Si le convertisseur constitue une partie d'un système externe à boucle fermée, un signal de commande provenant de la boucle est introduit dans ce convertisseur, qui peut alors être considéré comme un amplificateur faisant partie d'un ensemble de régulation en vue duquel le groupe est déterminé.

661. **Propriétés statiques**

Les propriétés statiques du système de commande sont celles qui sont valables après disparition des effets transitoires causés par les changements brusques des valeurs de référence ou des grandeurs à contrebalancer.

Si le convertisseur comporte un système interne de stabilisation, les propriétés statiques de ce système doivent être spécifiées pour des variations spécifiées des grandeurs qui doivent être contrebalancées (par exemple, tension et conditions du réseau, caractère de la charge, etc.). Cette spécification doit couvrir la gamme des valeurs de référence des grandeurs stabilisées pour lesquelles le groupe est prévu.

Si le convertisseur fait partie d'un système externe à boucle fermée, les propriétés statiques doivent être données sous la forme de la relation entre signal d'entrée et signal de sortie du convertisseur, dans les conditions définies des grandeurs qui peuvent influencer sur cette relation (par exemple, tension et état du réseau, caractère de la charge, etc.).

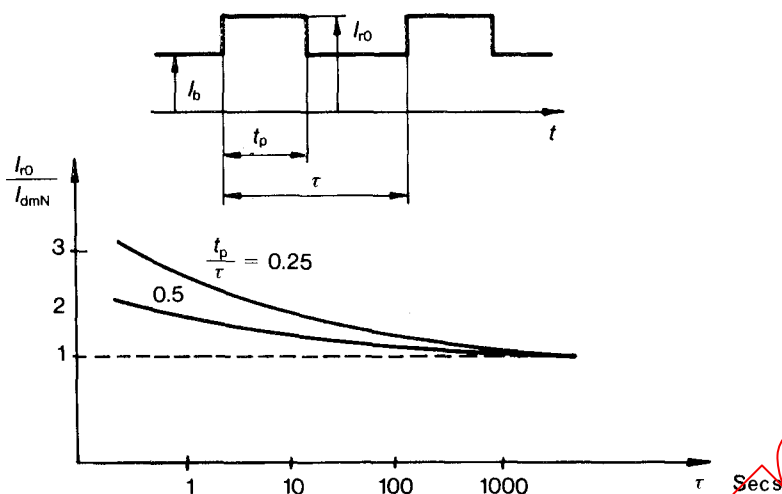


FIGURE 20b. — Repetitive overloads.

652. **Determination of overload capability through calculation of virtual junction temperature**

See Appendix D.

660. **Stabilization**

A convertor may have an internally or externally closed loop control system or other included means for stabilization of an output quantity (voltage, current, power).

If the convertor has an internally closed loop control system, a reference value for this system is introduced into the convertor electrically or mechanically or in any other way.

If the convertor is a part of an external closed loop system, a control signal from this loop is introduced into the convertor and the convertor may be regarded as an amplifier forming part of the total control system for which the equipment is designed.

661. **Static properties**

The static properties of the control system are those properties which are valid when the transients caused by sudden changes in set values or in quantities to be counteracted have disappeared.

If the convertor has internal stabilization means, its static properties shall be specified for specified variations of all quantities (e.g. voltage on line side, a.c. system conditions, character of load, etc.) which are to be counteracted. This specification shall cover the setting range of the stabilized quantities for which the convertor is designed.

If the convertor is part of an external closed loop system, the static properties shall be given as the relation between the input signal and the output from the convertor under stated conditions for those quantities (e.g. voltage on line side, a.c. system conditions, character of load, etc.) which may affect this relation.

662. **Propriétés dynamiques du système de régulation**

Les propriétés dynamiques du système de régulation doivent être données par le temps de réponse à un changement brusque ou comme réponse en fréquence ou par tout autre moyen approprié qui peut être convenu entre fournisseur et utilisateur.

Les propriétés dynamiques peuvent être définies en partant des variations de celles des grandeurs qui influent surtout sur les valeurs de sortie, particulièrement des variations des valeurs de référence, du signal de commande, ou encore de la charge.

Il n'est pas nécessaire de définir les propriétés dynamiques du système de régulation à partir de celles des grandeurs qui n'ont qu'une influence minime sur les valeurs de sortie.

670. **Fonctionnement des convertisseurs simples et des convertisseurs doubles**

671. **Montage en convertisseur simple**

Les thyristors (triodes thyristors à blocage inverse) ayant une conductibilité unidirectionnelle, il est impossible d'inverser le sens du courant traversant un convertisseur à thyristors simple. Toutefois, dans le cas des montages homogènes, le réglage de phase permet d'inverser la polarité de la tension de courant continu. La figure 21 ci-dessous montre la forme théorique de la tension redressée aux bornes d'un convertisseur à thyristors, ainsi que celle de la tension appliquée à un bras au cours du passage progressif du fonctionnement en redresseur au fonctionnement en onduleur. Les diagrammes correspondent à un montage de thyristors dont l'indice de pulsation $p = 6$ et dont l'indice de commutation $q = 6$. Ils sont tracés en supposant que le courant côté continu circule sans interruption dans toute l'étendue des conditions de fonctionnement.

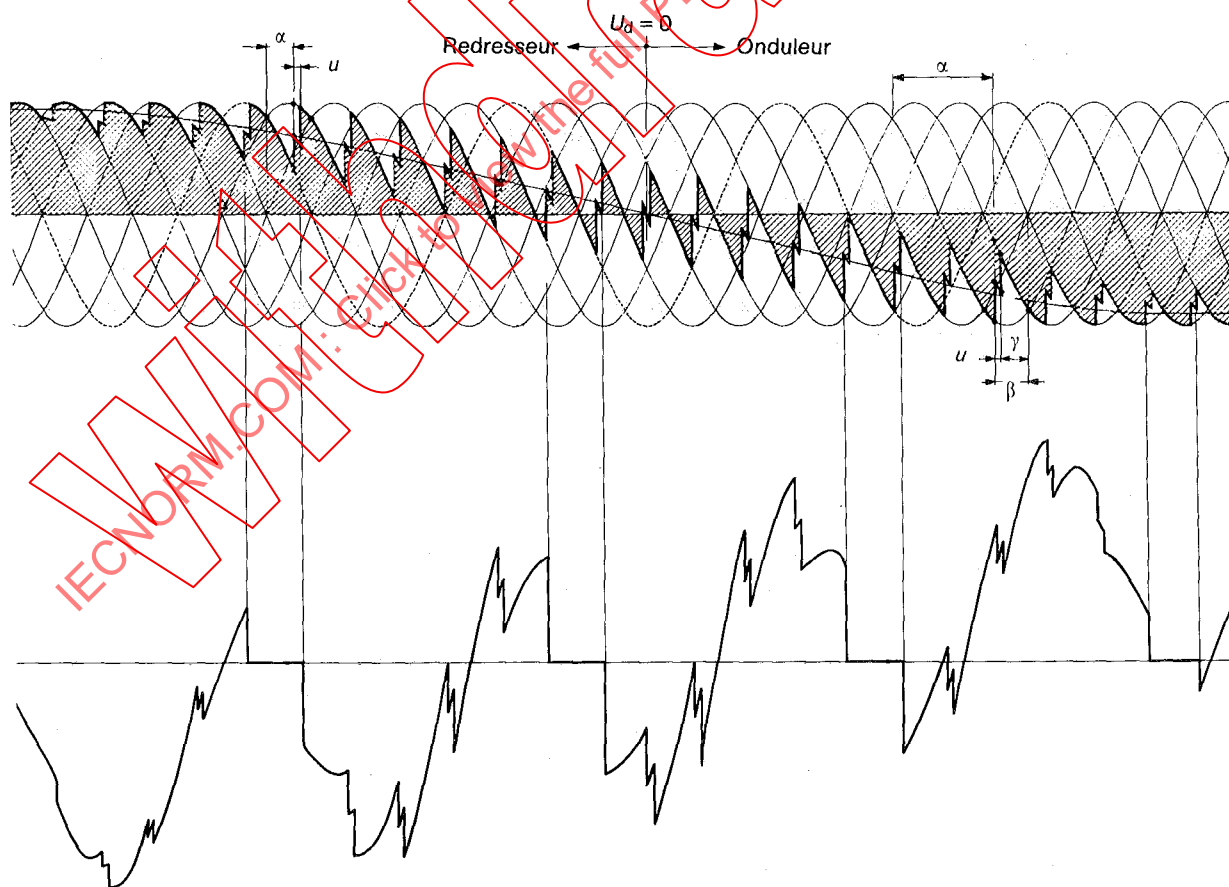


FIGURE 21

662. **Dynamic properties of the control system**

The dynamic properties of the control system shall be given as the response time to a step change or as the frequency response or in any other suitable way which may be agreed between supplier and user.

The dynamic properties shall be stated for changes in those quantities which mainly affect the output, especially for changes in set value or in control signal and for changes in load.

It is not necessary to state the dynamic properties of the control system for changes in those quantities which have only a minor influence on the output.

670. **Mode of operation of single and double convertors**

671. **Single convertor connection**

Because thyristors (reverse blocking triode thyristors) have an on-state region only in one direction, it is impossible to reverse a current flow through a single thyristor convertor. The direct voltage can, however, be reversed by phase control in uniform thyristor connections. Figure 21 below shows the theoretical wave form of the direct voltage of a thyristor convertor and the voltage over one arm of the thyristor connection during the transition from rectifier operation to inverter operation. The diagrams are based on a thyristor connection with a pulse number $p=6$ and a commutation number $q=6$. It is assumed that the direct current is continuous over the entire operation range.

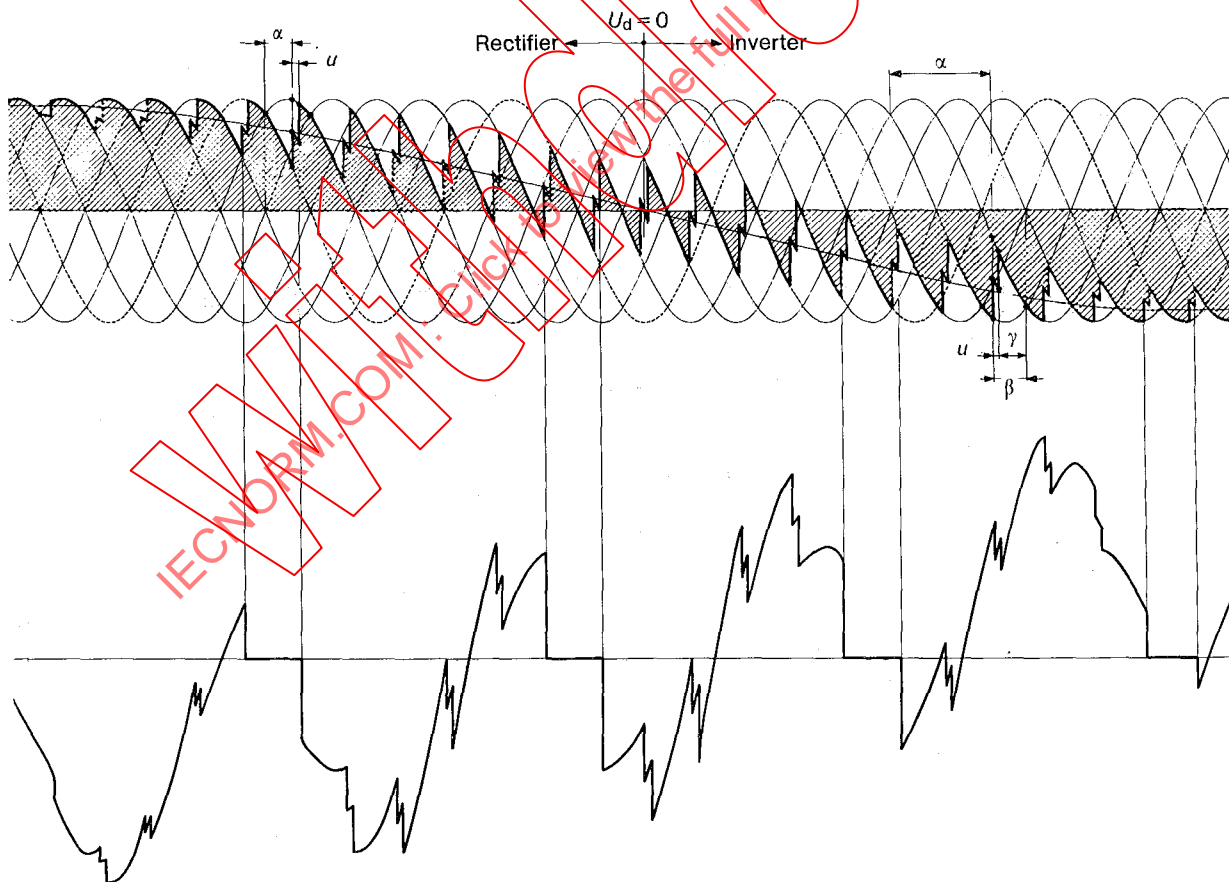


FIGURE 21

La figure 22 représente les courbes de variation de tension, par exemple la valeur moyenne de la tension côté continu, tracées en fonction de l'intensité du courant continu. Ces courbes sont tracées pour divers angles de retard α compris entre 0° et 150° . On a supposé que la réactance du circuit à courant continu est relativement petite et que le convertisseur débite sur f.c.é.m.

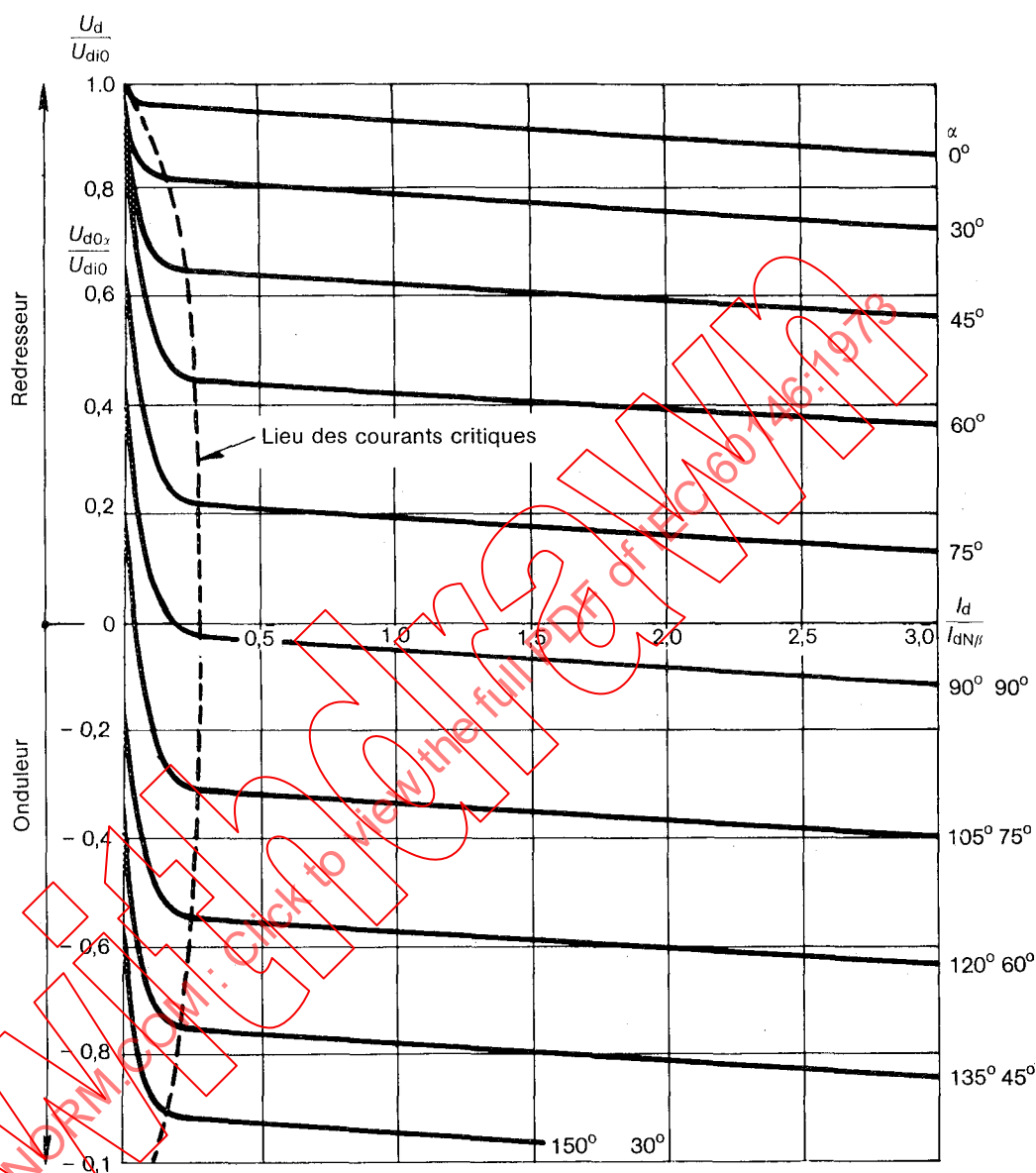


FIGURE 22

Lorsqu'un convertisseur à thyristors fonctionne en onduleur, il est nécessaire de limiter l'angle de retard, afin d'éviter les décrochages (paragraphe 124.2). Sur la figure 21, cette condition est exprimée par l'angle de marge γ qui dépend de l'angle d'avance β et de l'angle d'empêchement u et est déterminée par la relation:

$$\gamma = \beta - u$$

En toutes circonstances, il est nécessaire de conserver un angle de marge supérieur à celui correspondant au temps de désamorçage par commutation du circuit du thyristor. Cette limitation nécessaire de l'angle de retard α ou de l'angle d'avance β peut se calculer par la formule:

$$\cos \beta = \cos \gamma - 2 \cdot \frac{U_{dx}}{U_{dio}}$$

où U_{dx} = chute inductive totale de la tension continue.

The regulation curves, e.g. the mean value of the direct voltage as a function of the direct current, are shown in Figure 22. The curves are given for different delay angles α between 0° and 150° and it is assumed that the reactance of the d.c. circuit is relatively small and that the converter has a back e.m.f. load.

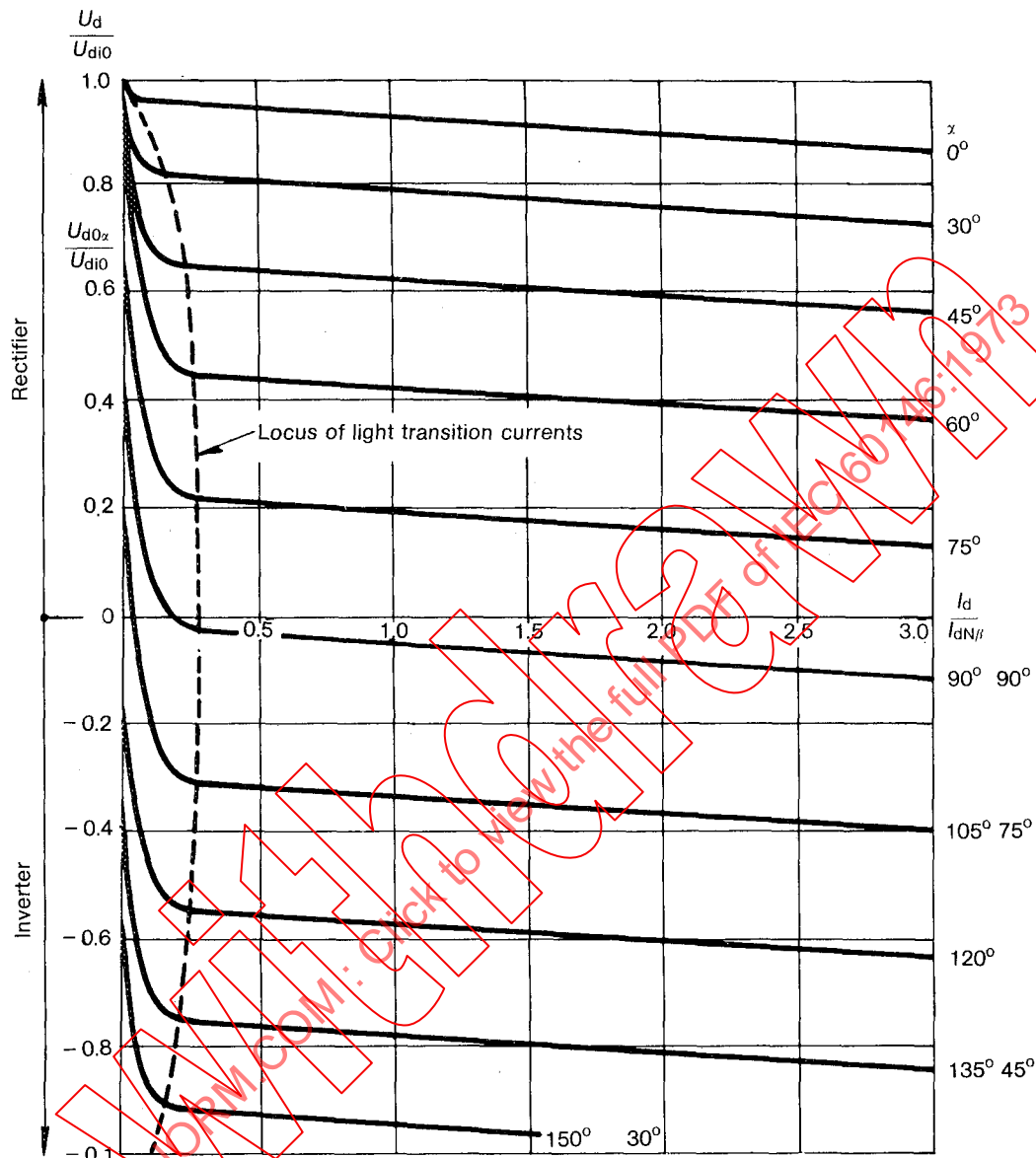


FIGURE 22

When a thyristor converter is operating in the inverter range, it is necessary to limit the delay angle to avoid conduction-through (Sub-clause 124.2). This is indicated in Figure 21 by the margin angle γ which depends on the value of the angle of advance β and the angle of overlap u and is determined by the relation:

$$\gamma = \beta - u$$

It is necessary to keep the margin angle under all circumstances bigger than the one corresponding to the required circuit commutated recovery time of the thyristors. The necessary limitation of the delay angle α or the advance angle β may be calculated from the formula:

$$\cos \beta = \cos \gamma - 2 \cdot \frac{U_{dx}}{U_{d10}}$$

where U_{dx} = total inductive direct voltage regulation.

672. Montages convertisseurs doubles

La figure 23 représente les courbes de variation de tension correspondant à un montage de convertisseur double pour deux angles de commande différents, α_1 pour l'un des convertisseurs et α_2 pour l'autre. Ces courbes correspondent à des conditions idéales et on a supposé que les inductances insérées dans les circuits à courant continu sont assez grandes pour que la région de transition de courant puisse être négligée.

Les droites limites de commutation indiquées à la figure 23 montrent la valeur la plus élevée du courant continu admissible dans le fonctionnement en onduleur, courant pour lequel la valeur critique de l'angle de marge γ est atteinte. Si, pour un courant donné, l'angle de retard α est augmenté au-delà de la limite indiquée, il se produit des décrochages.

Bien que les conditions limites de travail en redresseur d'un convertisseur simple soient données par la courbe de variation de tension correspondant à $\alpha = 0^\circ$, dans le cas d'un montage de convertisseur double, il peut être nécessaire d'admettre une valeur limite minimale de l'angle de retard afin d'éviter un courant continu de circulation.

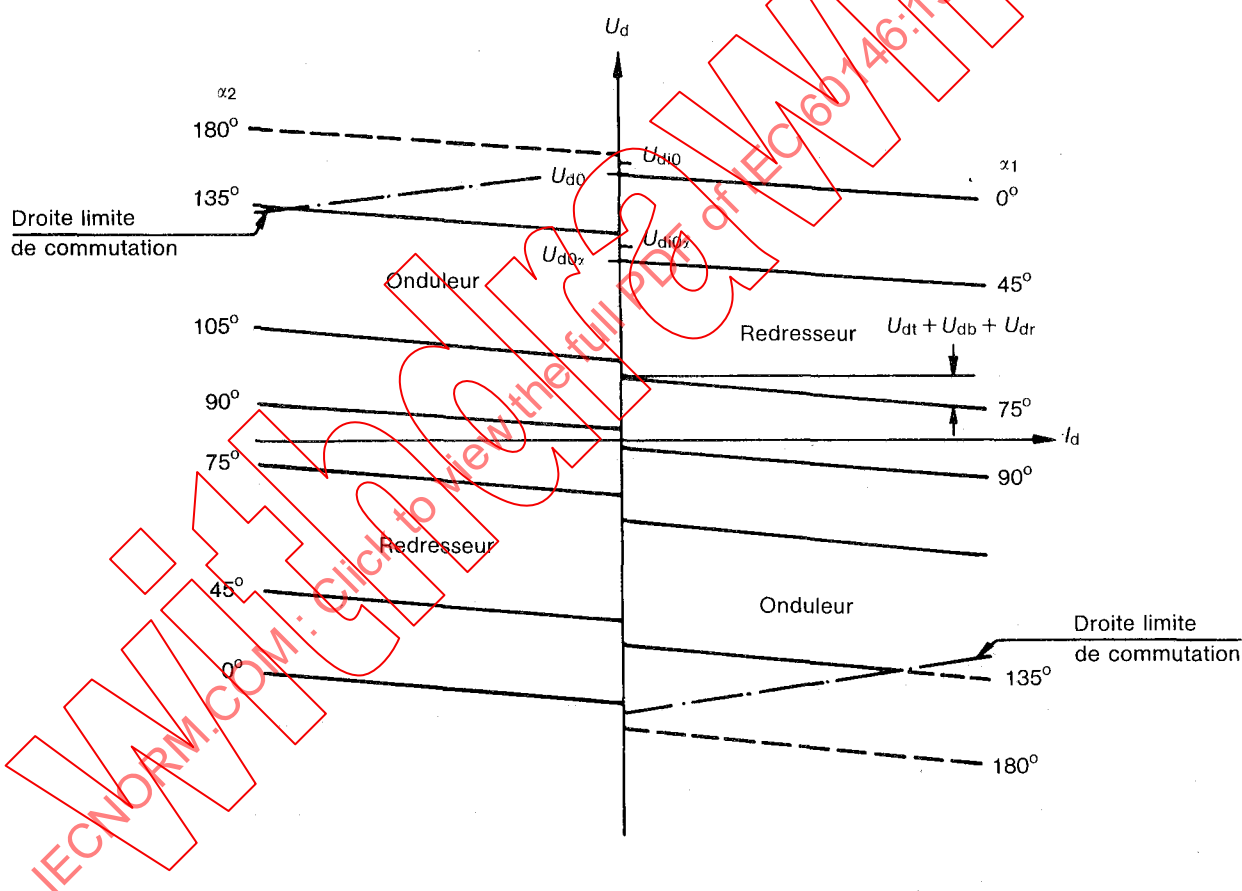


FIGURE 23

673. Courant critique

Quand le courant continu décroît au-dessous d'une certaine valeur définie comme étant le courant critique, paragraphe 126.6, les caractéristiques courant-tension s'incurvent vers le haut. Ce phénomène tient à ce que la réactance du circuit à courant continu ne peut plus maintenir le passage du courant au cours de la totalité de l'intervalle de temps pendant lequel la valeur instantanée de la tension redressée est inférieure à la f.c.é.m. du circuit de charge. Le courant redressé devient alors intermittent.

672. **Double convertor connections**

Theoretical regulation curves for a double convertor connection for different control angles α_1 for the one convertor and α_2 for the other convertor are shown in Figure 23. The curves are given for idealized conditions, assuming a high d.c. circuit inductance so that the transition current region can be neglected.

The commutation limit lines indicated in the figure gives the highest admissible direct current in inverter operation, at which the critical value of the margin angle γ is reached. If for a given direct current the delay angle α is increased beyond this limit, a conduction-through will occur.

Although the working limit for a single convertor in the rectifier operation region is given by the regulation curve for $\alpha = 0^\circ$, it may be necessary in a double convertor connection to limit also the minimum value of the delay angle to avoid circulating direct current.

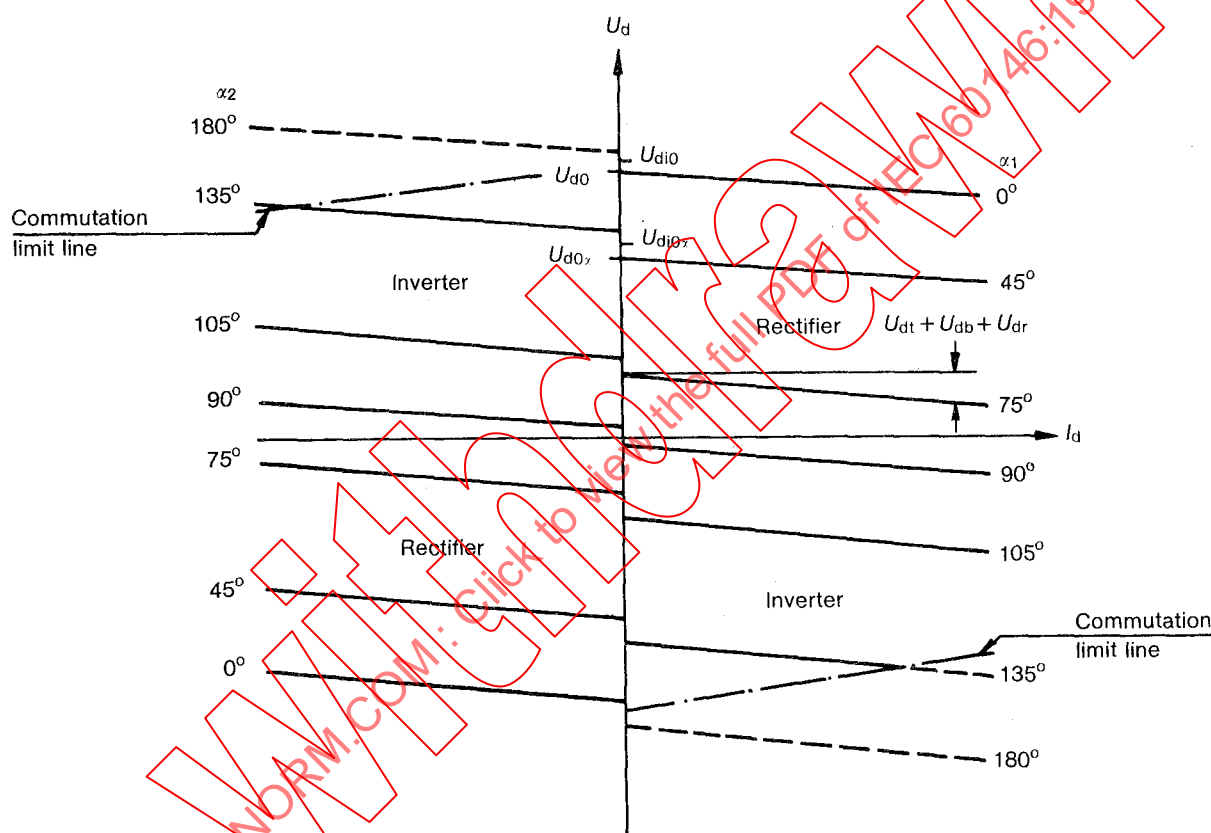


FIGURE 23

673. Transition current

When the direct current has decreased below the transition current value, Sub-clause 126.6, the voltage current characteristics bend upwards. This is because the reactance of the d.c. circuit cannot maintain direct current over the entire period when the instantaneous value of the direct voltage is less than the back e.m.f. voltage of the load. The direct current therefore becomes intermittent.

La figure 24 montre les formes de la tension et du courant côté continu lors du fonctionnement au courant intermittent. Au cours des intervalles de temps pendant lesquels le courant redressé est nul, la valeur instantanée de la tension redressée ne correspond plus à la forme théorique tracée en pointillé sur la figure 24. Elle conserve la valeur de la f.c.é.m. du circuit de charge. Ceci signifie que la valeur moyenne de la tension continue est plus élevée que celle qui est obtenue quand le courant continu est ininterrompu.

La valeur du courant critique dépend de l'inductance du circuit à courant continu, de sa f.c.é.m. et de la valeur de l'angle de retard α . Dans la région de fonctionnement en redresseur, elle croît lorsque l'inductance du circuit côté continu diminue, lorsque sa f.c.é.m. s'élève et que l'angle de retard croît de 0° à 90° . Dans la région de fonctionnement en onduleur, elle croît lorsque l'inductance du circuit continu diminue, lorsque sa f.c.é.m. s'élève et lorsque l'angle de retard décroît.

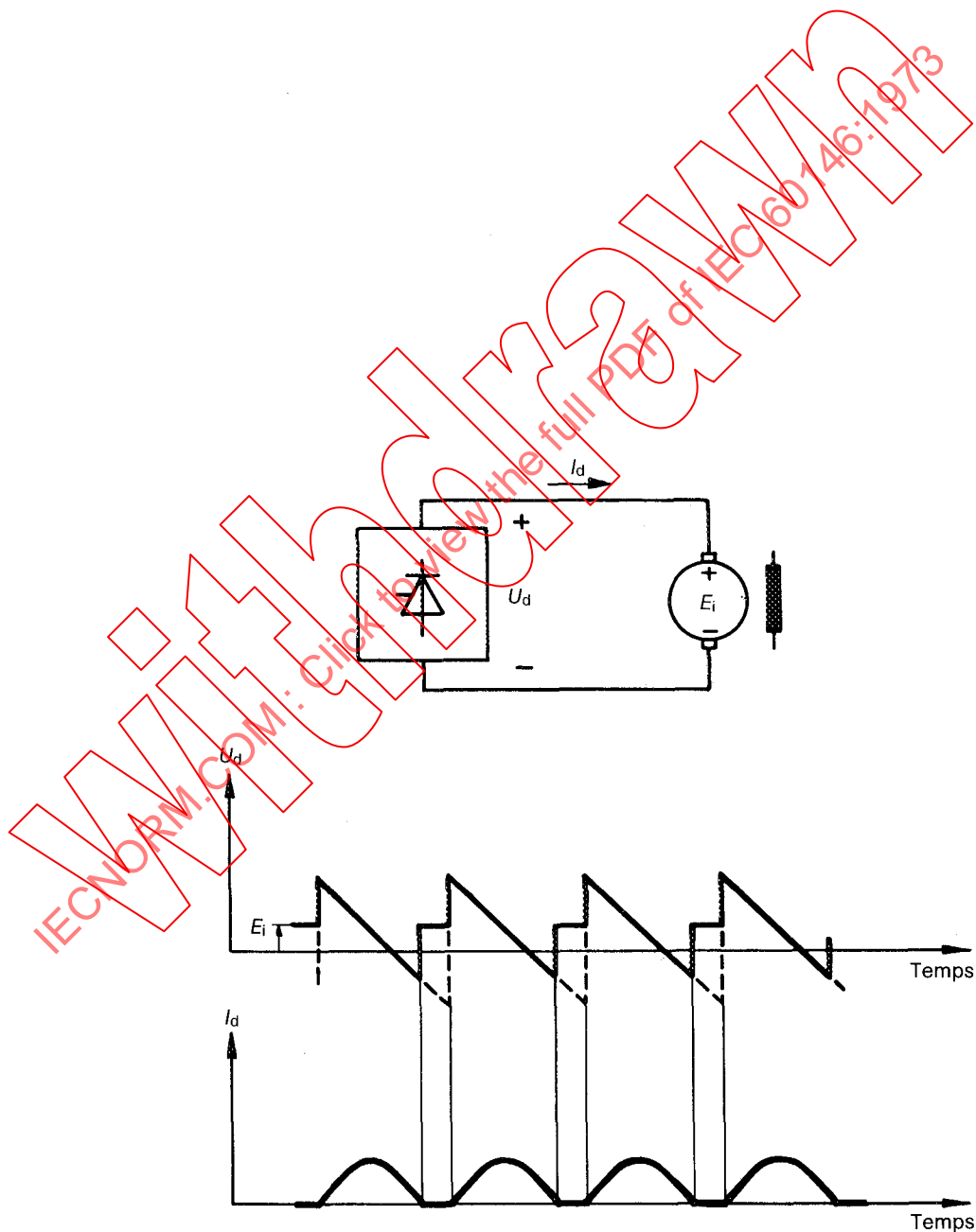


FIGURE 24

The waveforms of direct voltage and direct current under intermittent direct current conditions are shown in Figure 24. During those periods when the direct current is zero, the instantaneous value of the direct voltage is not given by the theoretical wave form as indicated by a dotted line in Figure 24, but by the back e.m.f. voltage of the load. This means that the mean value of the direct voltage of the converter is higher than that obtained when the direct current is continuous.

The value of the transition current depends on the inductance of the d.c. circuit, the back e.m.f. of the load and the value of the delay angle α ; it increases with decreasing d.c. circuit inductance with increasing back e.m.f. and with increasing delay angle from 0° to 90° in the rectifier operation region. It increases with decreasing d.c. circuit inductance, with increasing e.m.f. of the load and with decreasing delay angle in the inverter region of operation.

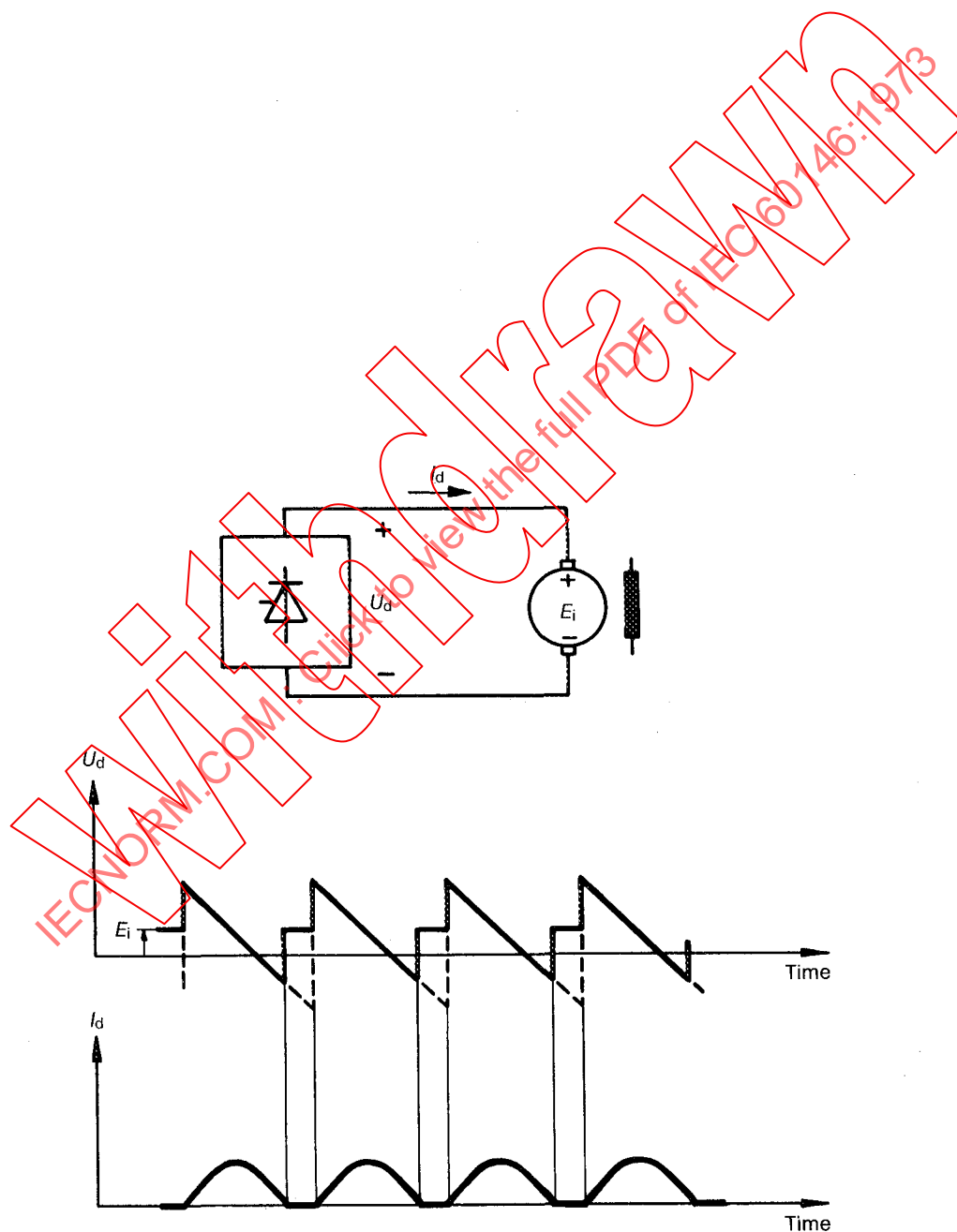


FIGURE 24

674. **Droites limites de travail en fonctionnement redresseur et onduleur**

La figure 25 montre les droites limites de travail en fonctionnement redresseur et onduleur. Pour le fonctionnement en onduleur, c'est la droite limite de commutation (voir article 672). Dans cet exemple, la valeur critique de l'angle de marge $\gamma_{\min}$ est supposée constante dans toute l'étendue du courant continu. Pour le fonctionnement en redresseur, la droite limite de travail est donnée par la courbe tension-courant avec un angle α égal à zéro.

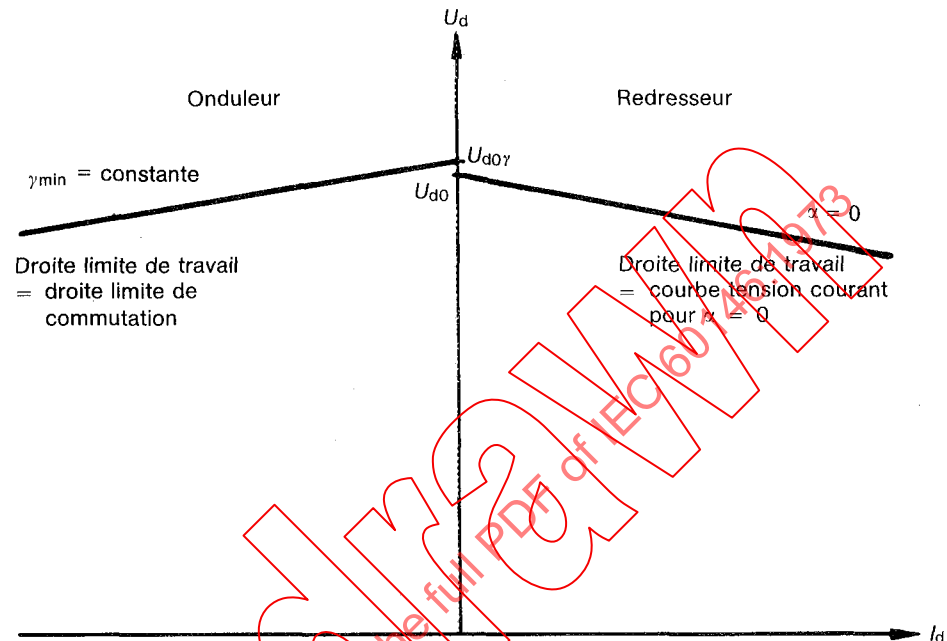


FIGURE 25

675. **Suppression du courant continu de circulation dans un montage de convertisseur double**

Il est nécessaire, dans le cas des montages de convertisseur double, de prendre quelques précautions pour éviter la circulation d'un courant continu excessif. Les trois moyens les plus généralement employés sont les suivants:

- 675.1 L'angle de retard de chacun des deux convertisseurs est commandé de telle sorte que la tension fictive à vide avec réglage du convertisseur travaillant en onduleur soit toujours supérieure à la tension continue donnée par l'autre convertisseur qui travaille en redresseur. A cause de la droite limite de commutation en fonctionnement onduleur (voir la figure 23, page 154), il est normalement nécessaire de limiter aussi la valeur minimale de l'angle de retard pour satisfaire pleinement à cette condition dans toute l'étendue de la zone de fonctionnement.
- 675.2 L'angle de retard de chacun des deux convertisseurs est commandé de telle sorte que le courant continu de circulation soit automatiquement réglé à une valeur notablement inférieure à celle du courant continu nominal. La valeur du courant continu de circulation peut être, de préférence, choisie légèrement supérieure au courant critique maximal pour éviter des courants continus intermittents.
- 675.3 On applique une commande de blocage aux électrodes de commande de tous les thyristors de l'un des convertisseurs pendant que l'autre convertisseur débite, et inversement. Ainsi, un seul des deux convertisseurs peut être en activité à un instant donné et aucun courant de circulation n'est possible entre eux.

674. **Working limit lines for rectifier and inverter operation**

Figure 25 shows the working limit lines for rectifier and inverter operation.

For inverter operation, the line is formed by the commutation limit line (see also Clause 672). In the example, the critical value of the margin angle $\gamma_{\min}$ is assumed to be constant over the whole direct current range.

For rectifier operation, the working limit line is given by the regulation curve with the delay angle α equal to zero.

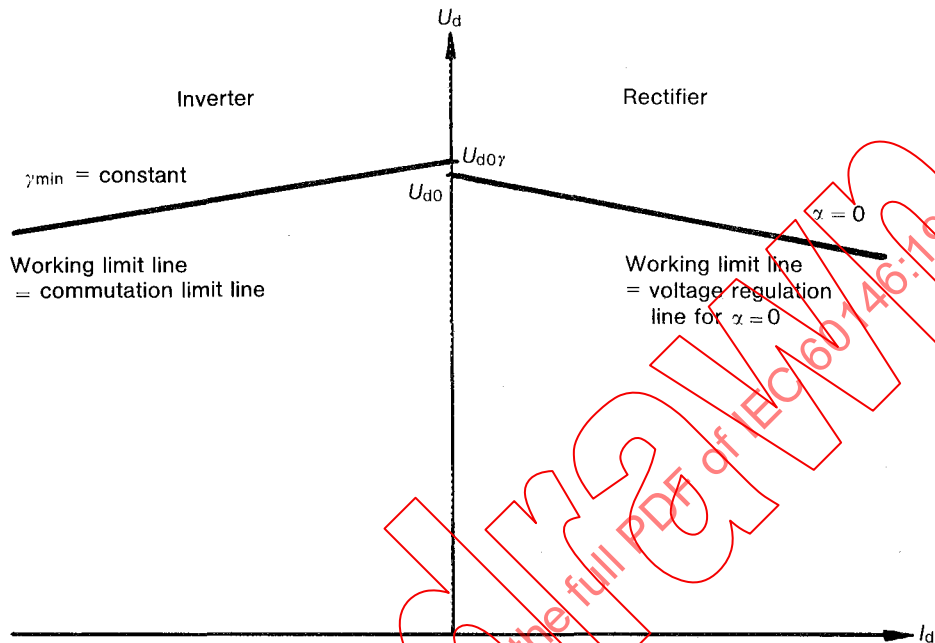


FIGURE 25

675. **Suppression of circulating direct current in double convertor connections**

In a double convertor connection, it is necessary to take some precautions in order to avoid excessive circulating direct current. The most widely used methods are the following three:

- 675.1 The delay angles of the two convertors are controlled so that the ideal direct voltage of the one convertor operating in the inverter mode is always higher than the direct voltage of the other convertor operating in the rectifier mode. Because of the commutation limit line in the inverter range as indicated in Figure 23, page 155, it is normally necessary to limit also the minimum value of delay angle to fulfil this requirement over the entire operation range.
- 675.2 The delay angles of the two convertors are controlled so that the circulating direct current is automatically controlled to a value appreciably smaller than rated direct current. The value of controlled circulating current can preferably be chosen slightly above the maximum transition current to avoid intermittent direct current.
- 675.3 A blocking signal to the gate electrode of all thyristors is supplied in one convertor when the other is carrying current and vice versa. In that way, only one convertor can operate at the same time and no circulating direct current can occur between the two convertors.

676. Suppression des courants alternatifs de circulation dans les montages de convertisseurs doubles

Il peut se produire une circulation de courants alternatifs entre les deux convertisseurs constituant un montage de convertisseur double en raison des différences d'amplitude et de phase entre les harmoniques que comportent leurs tensions redressées respectives.

Ces courants de circulation peuvent être soit limités, soit supprimés par l'un ou l'autre des moyens ci-après:

676.1 Des réactances sont insérées dans les circuits à courant continu, comme indiqué dans les montages 31 à 34 du tableau II. On peut faire quelque économie grâce à une commande appropriée des deux convertisseurs, telle que l'angle d'avance β correspondant au convertisseur travaillant en onduleur, soit toujours plus petit que l'angle de retard α correspondant au convertisseur travaillant en redresseur. Il est aussi possible d'employer des inductances saturables.

676.2 On peut supprimer le courant de circulation en bloquant alternativement les impulsions d'amorçage de l'un et de l'autre convertisseur, ainsi qu'il a été exposé à propos de la suppression du courant continu de circulation (paragraphe 675.3).

680. Principe de fonctionnement des convertisseurs réversibles contrôlant des moteurs à courant continu

La figure 26 montre les séquences de fonctionnement des convertisseurs réversibles alimentant un entraînement à moteur continu, pour différents types de montage. Le diagramme supérieur donne la vitesse du moteur en fonction du temps. Les diagrammes inférieurs montrent le fonctionnement du convertisseur en redresseur et en onduleur. Le fonctionnement des montages de base du convertisseur est représenté sous une forme simplifiée.

681. Inversion de la polarité du champ

Pour freiner le moteur jusqu'à l'arrêt et l'accélérer en sens inverse, le courant est annulé par le réglage de phase, le courant d'excitation est inversé, et le courant nécessaire au freinage est alors provoqué par le réglage de phase en fonctionnement onduleur. Le passage du freinage à l'accélération dans le sens inverse de rotation peut être réalisé progressivement par un réglage continu et plus profond lors du passage du fonctionnement en onduleur au fonctionnement en redresseur (voir la figure 26).

682. Inversion de la polarité de l'induit par commutateur

Dans ce cas, la séquence de fonctionnement est analogue à celle décrite à l'article 681, sauf que c'est le courant d'induit au lieu du courant d'excitation qui est inversé (voir la figure 26).

683. Montage d'un convertisseur double sur induit

L'induit du moteur est connecté en parallèle avec deux convertisseurs de polarités opposées. Quel que soit le sens de passage du courant dans l'induit, il y a toujours un convertisseur pour fournir ou récupérer ce courant (voir la figure 26).

676. Suppression of circulating alternating current in double convertor connections

Circulating alternating current between the two convertors in a double convertor connection can appear because of different phase and amplitude of the a.c. harmonics of the direct voltages.

This current can be limited or suppressed by the following two methods:

676.1 Reactors are inserted in the d.c. circuit as indicated in connections 31 to 34 in Table II. Some savings can be realized by proper control of the two convertors so that the angle of advance β for the convertor operating in the inverter range always is less than the delay angle α for the convertor operating in the rectifier range. It is also possible to save by making the reactors saturable.

676.2 The circulating currents can be suppressed by alternately blocking the trigger pulses to the two convertors in the same way as has been described in Sub-clause 675.3.

680. Principle of operation for reversible convertors for control of d.c. motors

In Figure 26 are shown the sequences of operations of reversible convertors serving a d.c. motor drive, for several types of circuits. The upper diagram shows motor speed plotted as function of time. In the lower diagrams are indicated the operation of the convertor as a rectifier and as an inverter. The operation of the basic convertor circuits is also indicated in simplified form.

681. Motor field reversal

To brake the motor to standstill and then accelerate it in the reverse sense, the current is reduced to zero by phase control, the field current is reversed, and the required braking current is then caused to flow by adjustment of the phase control for inverter operation. Subsequent transition from braking to acceleration in the reverse sense of rotation can be achieved smoothly by further continuous advance of phase control from inversion to rectification (see Figure 26).

682. Motor armature reversal by reversing switch

In this case, the sequence of operations is similar to that described in Clause 681 except that armature current is reversed by a reversing switch instead of reversing the field current (see Figure 26).

683. Double convertor connection to motor armature

The motor armature is connected in parallel with two convertors of opposite polarities. Irrespective of the desired direction of the current in the motor armature, there is always a convertor available to supply or accept this current (see Figure 26).

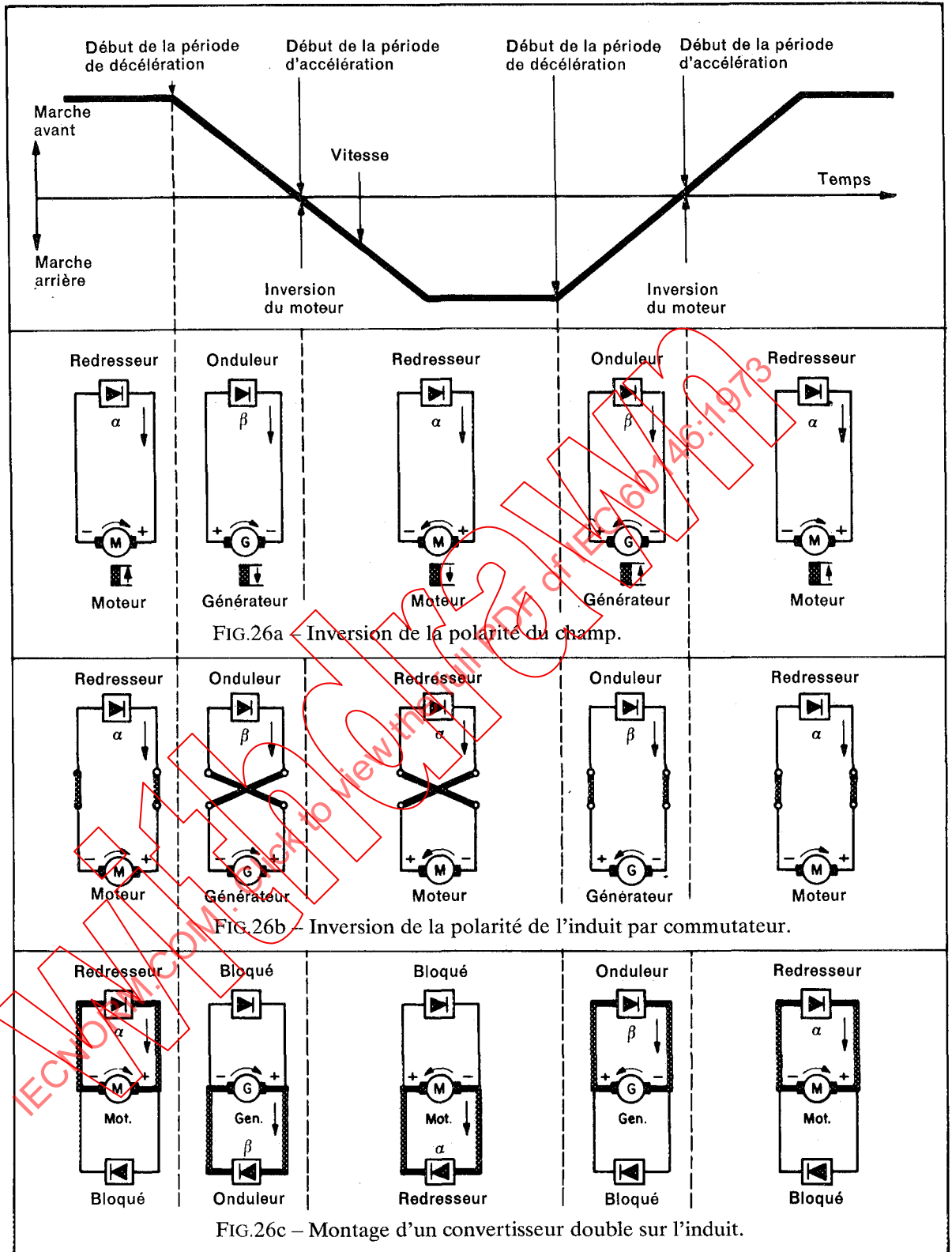


FIG. 26. - Opérations successives de convertisseurs servant à commander un moteur réversible à courant continu.

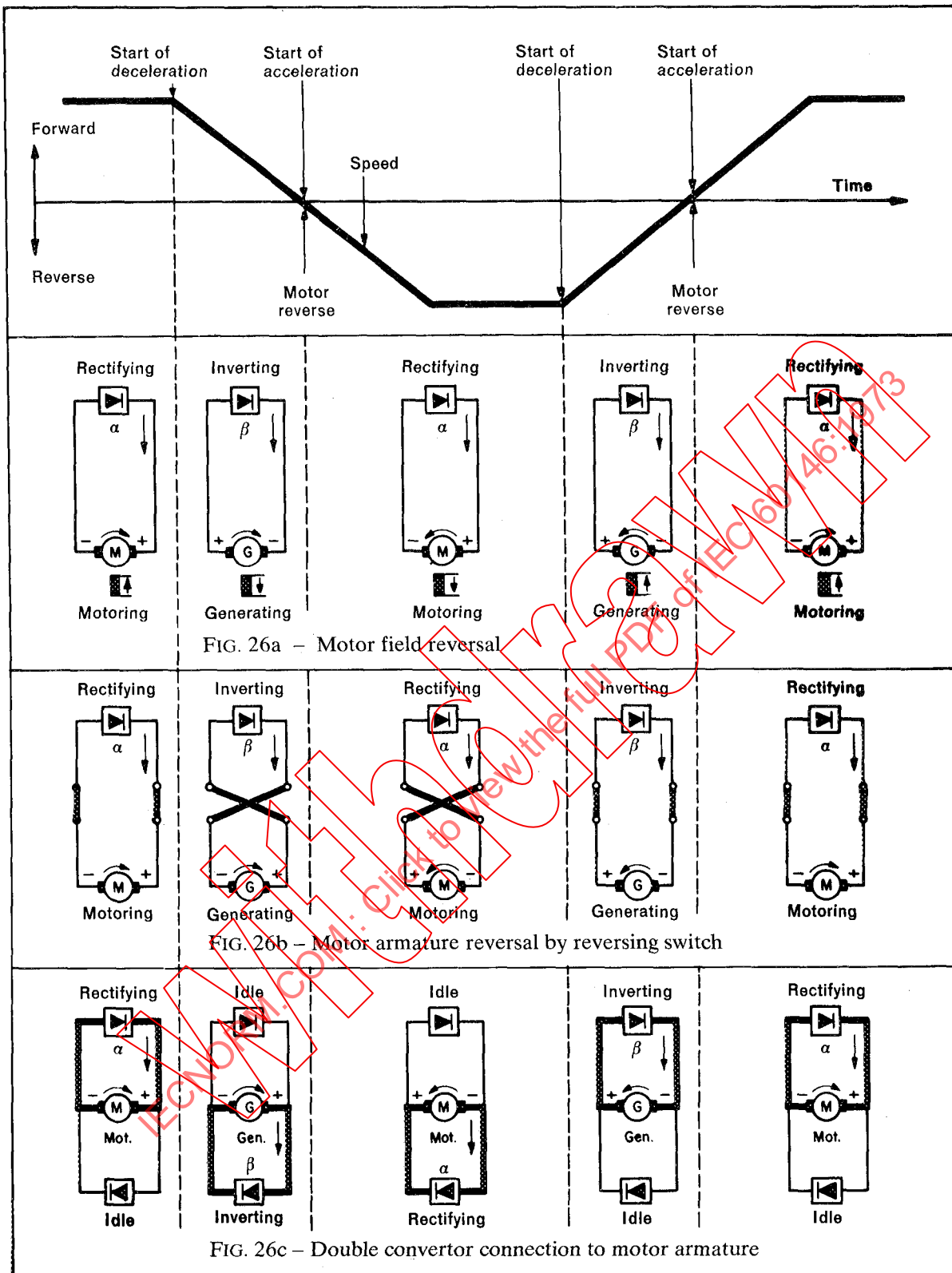


FIG. 26. - Operating sequences of converters serving a reversible d.c.-motor.

690. **Conditions de fonctionnement de circuit qui influencent la tension appliquée aux éléments de circuit de convertisseur**

Un élément de circuit de convertisseur est soumis non seulement à une tension de crête en rapport avec la tension c.a. de ligne, mais aussi aux tensions répétitives et non répétitives superposées à la tension théorique aux bornes de l'élément.

Les figures 27a et 27b montrent des exemples de formes d'onde de tension pour un élément de circuit d'un convertisseur non réglé, respectivement réglé, en supposant un indice de commutation $q = 3$ et un indice de pulsation $p = 6$.

Les tensions U_{RWM} et U_{DWM} sont les valeurs de crête de la tension de circuit appliquées à un élément de circuit de convertisseur.

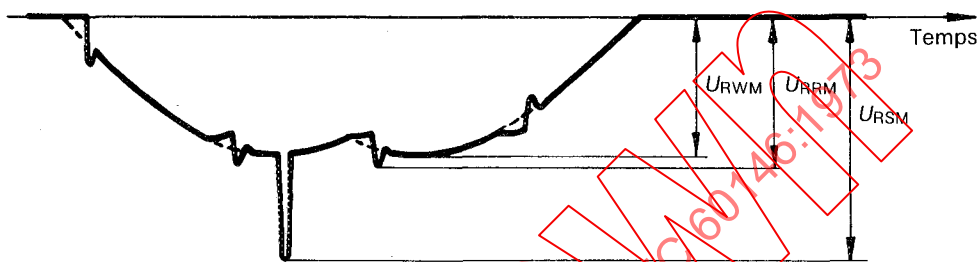


FIGURE 27a

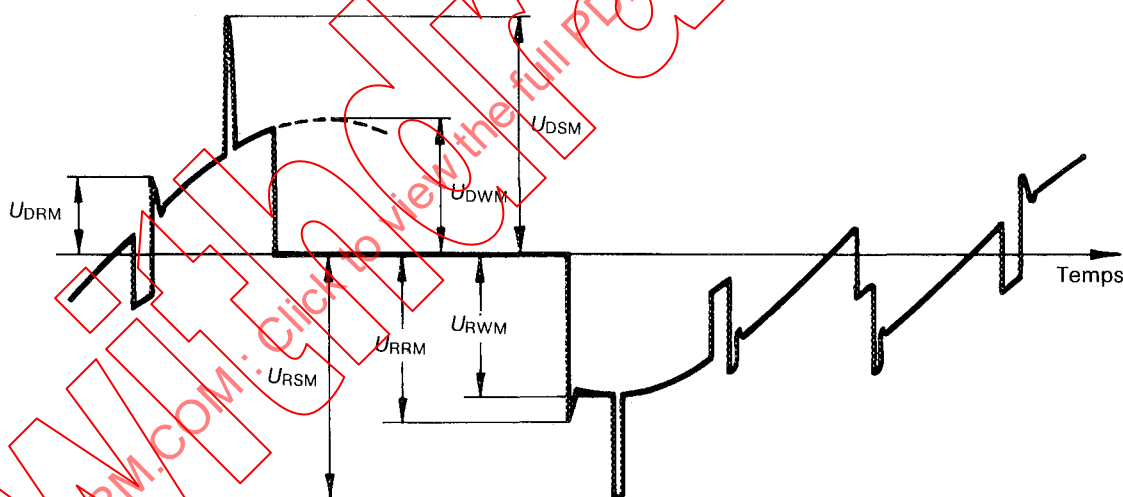


FIGURE 27b

Les tensions U_{RRM} et U_{DRM} sont des tensions de pointe répétitives qui apparaissent dans un montage du fait des propriétés des dispositifs semiconducteurs utilisés en fonction de paramètres de circuit tels que inductances, circuits RC, etc. Les tensions répétitives sont essentiellement sous contrôle du projecteur du circuit.

Les tensions U_{RSM} et U_{DSM} sont des tensions de pointe non répétitives qui peuvent être causées par le fonctionnement des disjoncteurs, par des perturbations atmosphériques, etc. Les tensions de ce genre peuvent être atténuées par des dispositifs de parasurtensions.

Dans la détermination des convertisseurs, on doit s'assurer que les dispositifs semiconducteurs utilisés ont des valeurs de tension nominale qui sont plus élevées que les tensions qui peuvent se produire en service selon les trois cas de la figure 27.

690. **Circuit operating conditions affecting the voltage applied across convertor circuit elements**

A convertor circuit element is exposed not only to the crest voltage related to the a.c. line voltage but also to repetitive and non-repetitive voltages superimposed on the theoretical voltage over the element.

Figures 27a and 27b show examples of the voltage waveforms applied across an uncontrolled and controlled convertor circuit element respectively, assuming a commutating number $q=3$ and a pulse number $p=6$.

The voltages U_{RWM} and U_{DWM} are the crest values of the circuit voltage applied across the convertor circuit element.

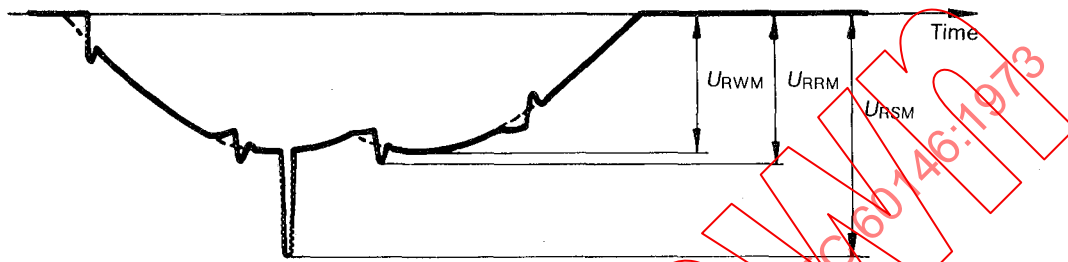


FIGURE 27a

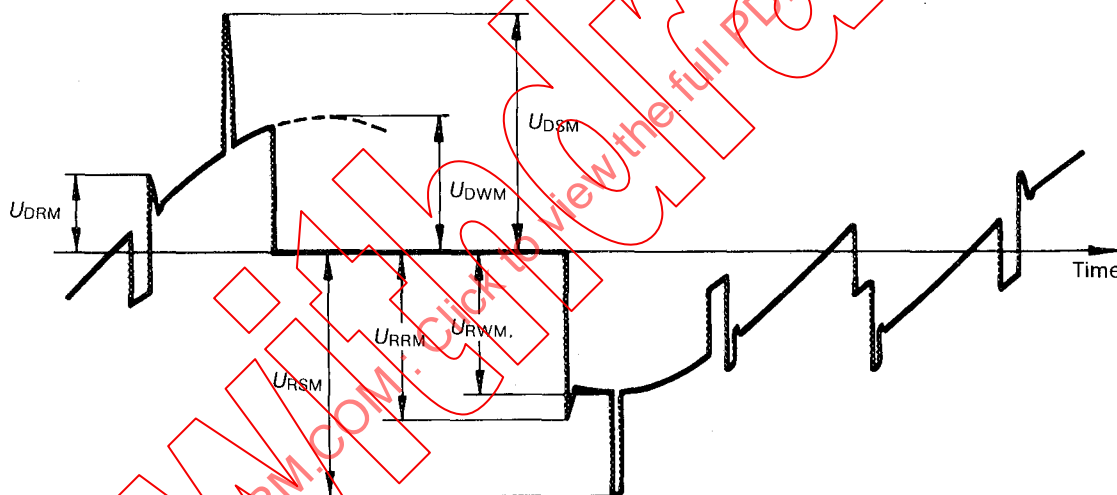


FIGURE 27b

The voltages U_{RRM} and U_{DRM} are repetitive voltage peaks applied across the convertor circuit element due to the properties of the semiconductor devices used in conjunction with circuit parameters such as inductances, RC networks, etc. Repetitive voltages are substantially under control of the circuit designer.

The voltages U_{RSM} and U_{DSM} are non-repetitive voltage peaks applied across the convertor circuit element and which may originate from operating circuit-breakers, atmospheric disturbances, etc. This kind of voltage may be minimized by the provision of surge suppression components.

In the design of convertors, it must be assured that the semiconductor devices used have rated voltage values which exceed the anticipated voltage in service for each of the three kinds of voltages specified in Figure 27.

ANNEXE A

DIODES DE REDRESSEMENT À SEMICONDUCTEURS ET ÉLÉMENTS REDRESSEURS

Cette annexe se rapporte aux diodes de redressement et aux éléments redresseurs fournis séparément en vue d'être utilisés par l'acheteur ou pour être employés dans un équipement redresseur déterminé.

Cette annexe se rapporte aussi aux diodes de redressement et aux éléments composant l'équipement redresseur réalisé suivant cette recommandation.

A1. Définitions

A1.1 Borne d'anode

Borne vers laquelle le courant direct circule à partir du circuit extérieur.

A1.2 Borne de cathode

Borne à partir de laquelle le courant direct circule vers le circuit extérieur.

A1.3 Sens direct

Sens de circulation d'un courant continu permanent pour lequel une diode à semiconducteurs présente la plus faible résistance.

A1.4 Sens inverse

Sens de circulation d'un courant continu permanent pour lequel une diode à semiconducteurs présente la plus forte résistance.

A1.5 Tension directe U_F

Tension aux bornes provoquée par la circulation du courant dans le sens direct.

A1.6 Tension de seuil $U_{(T0)}$

Valeur de la tension à l'intersection avec l'axe des tensions d'une droite représentant de façon approchée la caractéristique de la diode à l'état passant.

A1.7 Résistance à l'état passant r_F

Valeur de la résistance calculée à partir de la pente de la droite utilisée pour la détermination de la tension de seuil.

A1.8 Courant direct I_F

Courant qui circule dans le sens direct d'une diode de redressement.

A1.8.1 Courant direct moyen $I_{F(AV)}$

Valeur moyenne du courant direct calculée sur une période complète.

A1.8.2 Courant direct de surcharge prévisible $I_{F(OV)}$

Courant direct dont l'application permanente conduirait à un dépassement de la température virtuelle maximale de la jonction, mais qui est limitée dans le temps de telle sorte que cette température ne soit pas dépassée.

APPENDIX A

SEMICONDUCTOR RECTIFIER DIODES AND DIODE STACKS

This appendix refers to rectifier diodes and diode stacks supplied separately for use to be determined by the purchaser or for use in specified rectifier equipment.

This appendix also refers to rectifier diodes and diode stacks which are components of rectifier equipment delivered in accordance with this recommendation.

A1. Definitions

A1.1 Anode terminal

The terminal to which forward current flows from the external circuit.

A1.2 Cathode terminal

The terminal from which forward current flows to the external circuit.

A1.3 Forward direction

The direction of the flow of continuous (direct) current in which a semiconductor diode has the lower resistance.

A1.4 Reverse direction

The direction of the flow of continuous (direct) current in which a semiconductor diode has the higher resistance.

A1.5 Forward voltage U_F

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

A1.6 Threshold voltage U_{TO}

The value of the voltage obtained at the intersection of the voltage axis and the straight line which represents approximately the forward voltage-current characteristic.

A1.7 Forward slope resistance r_F

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

A1.8 Forward current I_F

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

A1.8.1 Mean forward current $I_{F(AV)}$

The value of the forward current averaged over one full cycle.

A1.8.2 Overload forward current $I_{F(OV)}$

A forward current, the continuous application of which would cause the maximum rated virtual junction temperature to be exceeded, but which is limited in time so that this temperature is not exceeded.

A1.8.3 *Courant direct de pointe répétitif* I_{FRM}

Valeur de pointe du courant direct incluant tous les courants transitoires répétitifs.

A1.8.4 *Courant direct de surcharge accidentelle* I_{FSM}

Courant direct dont l'application conduirait à un dépassement de la température virtuelle maximum de la jonction, mais qui ne doit se produire que rarement avec un nombre de répétitions limité pendant la durée de vie du dispositif et n'être qu'une conséquence de conditions inhabituelles de service (par exemple, défauts).

A1.9 *Pertes directes* P_F

Pertes provoquées par la circulation du courant direct.

Note. — Les pertes directes P_F sont la valeur moyenne arithmétique du produit de la tension directe instantanée u_F et du courant direct instantané i_F intégré sur une période complète de durée T . Elles sont exprimées par la formule suivante:

$$P_F = \frac{1}{T} \int_0^T u_F i_F dt$$

A1.10 *Dissipation de puissance répétitive en inverse (pour diodes de redressement à avalanche)*

Puissance dissipée dans la diode quand celle-ci fonctionne répétitivement en inverse.

A1.11 *Dissipation d'énergie de crête en inverse (pour diodes de redressement à avalanche)*

Energie dissipée dans la diode résultant des surcharges prévisibles quand la diode fonctionne en inverse.

A1.12 *Tension inverse*

A1.12.1 *Tension inverse de crête* U_{RWM}

Valeur instantanée la plus élevée de la tension inverse qui apparaît aux bornes d'une diode de redressement, excluant toutes les tensions transitoires répétitives et non répétitives.

A1.12.2 *Tension inverse de pointe répétitive* U_{RRM}

Valeur instantanée la plus élevée de la tension inverse qui apparaît aux bornes d'une diode de redressement, incluant toutes les tensions transitoires répétitives, mais excluant toutes les tensions transitoires non répétitives.

Note. — La tension répétitive est habituellement une fonction du circuit et accroît la dissipation de puissance du dispositif.

A1.12.3 *Tension inverse de pointe non répétitive* U_{RSM}

Valeur instantanée la plus élevée d'une quelconque tension inverse transitoire non répétitive qui apparaît aux bornes d'une diode de redressement.

Note. — Une tension transitoire non répétitive est habituellement due à une cause extérieure et on admet que son effet a complètement disparu avant que la transitoire suivante ne se manifeste.

A1.13 *Courant inverse* I_R

Courant conducteur total parcourant une diode quand une tension inverse est appliquée.

A1.14 *Courant inverse de recouvrement*

Composante transitoire du courant inverse d'une diode de redressement se produisant lors du passage de la conduction directe au blocage inverse.

A1.8.3 *Repetitive peak forward current* I_{FRM}

The peak value of the forward current including all repetitive transient currents.

A1.8.4 *Surge forward current* I_{FSM}

A current the application of which causes the maximum rated virtual junction temperature to be exceeded, but which is assumed to occur only rarely with a limited number of occurrences during the service life of the device and to be a consequence of unusual circuit conditions (e.g. fault conditions).

A1.9 *Forward power loss* P_F

The power losses resulting from the flow of forward current.

Note. – The forward power losses P_F are the mean value of the product of the instantaneous forward voltage u_F and the instantaneous forward current i_F averaged over a full cycle with the duration T . They are expressed by the following formula:

$$P_F = \frac{1}{T} \int_0^T u_F i_F dt$$

A1.10 *Repetitive reverse power dissipation (for avalanche rectifier diodes)*

The power which is dissipated within the diode when it is operating repetitively in the reverse direction.

A1.11 *Reverse surge energy dissipation (for avalanche rectifier diodes)*

The energy which is dissipated within the diode resulting from surges occurring when it is operating in the reverse direction.

A1.12 *Reverse voltage*

A1.12.1 *Crest working reverse voltage* U_{RWM}

The highest instantaneous value of the reverse voltage which occurs across a semiconductor rectifier diode, excluding all repetitive and non-repetitive transient voltages.

A1.12.2 *Repetitive peak reverse voltage* U_{RRM}

The highest instantaneous value of the reverse voltage which occurs across a semiconductor rectifier diode, including all repetitive transient voltages, but excluding all non-repetitive transient voltages.

Note. – The repetitive voltage is usually a function of the circuit and increases the power dissipation of the device.

A1.12.3 *Non-repetitive peak reverse voltage* U_{RSM}

The highest instantaneous value of any non-repetitive transient reverse voltage which occurs across a semiconductor rectifier diode.

Note. – The non-repetitive transient voltage is usually due to an external cause and it is assumed that its effect has completely disappeared before the next transient arrives.

A1.13 *Reverse current* I_R

The total conductive current flowing through a diode when reverse voltage is applied.

A1.14 *Reverse recovery current*

The transient component of reverse current of a rectifier diode associated with a change from forward conduction to reverse blocking.

A1.15 *Charge de recouvrement*

Charge totale résiduelle dans le dispositif pendant la commutation d'une condition spécifiée de courant direct à une condition spécifiée de tension inverse de blocage. La charge est définie par l'intégrale $\int idt$ correspondant au courant inverse de recouvrement.

A1.16 *Résistance thermique R_{th}*

Quotient de la différence de température entre deux points ou régions spécifiées par le flux de chaleur entre ces deux points ou régions, dans des conditions d'équilibre thermique.

Note. – Dans la plupart des cas, le flux de chaleur peut être assimilé à la puissance dissipée.

A1.17 *Impédance thermique transitoire $Z_{(th)t}$*

Quotient de:

- la variation de la différence de température, atteinte au bout d'un certain intervalle de temps, entre la température virtuelle de fonction et la température d'un point de référence extérieur spécifié;
- la modification de la fonction échelon de la puissance dissipée au début du même intervalle de temps provoquant la modification de la température.

Immédiatement avant le début de cet intervalle de temps, la distribution de la température dans le dispositif doit être constante en fonction du temps.

Note. – L'impédance thermique transitoire est donnée en fonction de la durée de l'intervalle de temps.

A1.18 *Température virtuelle de jonction θ_j*

Température théorique du matériau semiconducteur, basée sur une représentation simplifiée du comportement thermique et électrique d'un dispositif semiconducteur.

Notes 1. – La température virtuelle n'est pas nécessairement la température la plus élevée du dispositif.

2. – Basée sur la température virtuelle et sur la résistance thermique ou l'impédance thermique transitoire qui correspond à ce mode de fonctionnement, la puissance dissipée peut être calculée à l'aide d'une relation spécifiée.

A2. **Caractéristiques nominales**

Les caractéristiques nominales des diodes et éléments redresseurs utilisés dans les convertisseurs de puissance doivent, pour ce qui a trait à leur capacité de charge, être fixées par le constructeur dans les conditions définies aux paragraphes A2.1 à A2.5.

Les contraintes correspondant aux diverses conditions nominales seront appliquées simultanément dans la mesure où elles sont compatibles entre elles.

A2.1 *Mode de refroidissement spécifié*

Deux classes de diodes de redressement ou d'éléments peuvent satisfaire à la présente recommandation:

A2.1.1 *Diodes ou éléments munis d'organes de refroidissement*

Diodes ou éléments fournis avec leurs propres dispositifs de dissipation de chaleur, tels que diodes comportant des ailettes incorporées ou des éléments munis d'ailettes.

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.).

A1.15 *Recovery charge*

The total charge residual in the device when switching from a specified forward current condition to a specified reverse voltage blocking condition. The charge is defined by $\int idt$ corresponding to the reverse recovery current.

A1.16 *Thermal resistance R_{th}*

The quotient of the temperature difference between two specified points or regions and the heat flow between these two points or regions under conditions of thermal equilibrium.

Note. – For most cases, the heat flow can be assumed to be equal to the power dissipation.

A1.17 *Transient thermal impedance $Z_{(th)t}$*

Quotient of:

- a) the variation of the temperature difference, reached at the end of a time interval between the virtual junction temperature and the temperature at a specified external reference point and
- b) the step function change of power dissipation at the beginning of the same time interval causing the change of temperature.

Immediately before the beginning of this time interval, the distribution of temperature must have been constant with time.

Note. – Transient thermal impedance is given as a function of the time interval.

A1.18 *Virtual junction temperature θ_j*

A hypothetical temperature within the semiconductor material which is based on a simplified representation of the thermal and electrical behaviour of a rectifier diode.

Notes 1. – The virtual junction temperature is not necessarily the highest temperature in the diode.

2. – Based on the virtual junction temperature and on the thermal resistance and transient thermal impedance which correspond to the mode of operation, the power dissipation can be calculated using a specified relationship.

A2. **Rated values and characteristics**

For the application of rectifier diodes and diode stacks with regard to loading in power converters, rated values are to be given by the manufacturer of diodes or diode stacks in terms of Sub-clauses A2.1 to A2.5.

Simultaneous application of all rated values is inferred wherever these are consistent with each other.

A2.1 *Specified cooling method*

Two classes of diodes or diode stacks may be applied to this recommendation.

A2.1.1 *Diodes or diode stacks with cooling body*

Diodes or diode stacks supplied with their own heat dissipating arrangements such as diodes 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 cooling, forced air cooling, natural oil convection, etc.).

A2.1.2 *Diodes ou éléments sans organe de refroidissement*

Diodes, devant être fixées ou vissées, fournies pour être utilisées avec les dispositifs d'évacuation de chaleur propres à l'acheteur (par exemple, dispositif refroidi par ailettes ou par fluide et auquel la diode est fixée).

Pour cette classe, l'utilisateur doit s'assurer que la température limite de fonctionnement spécifiée pour la diode n'est pas dépassée.

A2.2 *Conditions spécifiées de refroidissement*

Pour les diodes et éléments mentionnés au paragraphe A2.1.1, il y a lieu de spécifier les conditions de refroidissement, à savoir:

A2.2.1 Température ambiante et altitude, dans le cas de refroidissement naturel.

A2.2.2 Température de l'air de refroidissement, vitesse ou débit et altitude, dans le cas du refroidissement par ventilation forcée.

A2.2.3 Nature du fluide de refroidissement, sa température et sa vitesse, ou son débit dans le cas du refroidissement par liquide.

A2.3 *Températures limites*

Pour les diodes définies aux paragraphes A2.1.1 et A2.1.2, on devra spécifier les températures limites ci-après:

A2.3.1 *Température maximale au point de référence*

Température maximale au point de mesure spécifié de la diode, dans les conditions de régime établi spécifiées.

A2.3.2 *Température virtuelle maximale de la jonction*

A2.3.3 *Températures limites de stockage*

A2.4 *Caractéristiques thermiques*

A2.4.1 *Diodes ou éléments munis d'organes de refroidissement*

Pour les diodes ou éléments définis au paragraphe A2.1.1, on devra spécifier les caractéristiques thermiques suivantes:

Résistance thermique maximale entre la jonction de la diode et le fluide de réfrigération (dans le cas des éléments la valeur maximale de toutes les diodes sera spécifiée).

Impédance thermique transitoire maximum entre la jonction et le fluide de refroidissement.

Note. – L'impédance thermique transitoire sera donnée de préférence par une courbe comme celle de la figure A1, page 174.

A2.4.2 *Diodes ou éléments sans organe de refroidissement*

Pour les diodes ou éléments définis au paragraphe A2.1.2, on devra spécifier les conditions thermiques suivantes:

Résistance thermique maximale entre la jonction et un point spécifié de la surface de la diode, voisin de la partie filetée ou de l'embase.

Résistance thermique maximale entre le même point spécifié et la surface de l'organe de réfrigération sur lequel la diode est montée.

Impédance thermique transitoire maximale entre la jonction et le même point spécifié.

Note. – L'impédance thermique transitoire sera donnée de préférence par une courbe comme celle de la figure A1.

A2.1.2 *Diodes without cooling body*

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

For this class, the user must ensure that the specified limiting temperature values of the diodes are not exceeded.

A2.2 *Specified cooling conditions*

For diodes and diode stacks as defined in Sub-clause A2.1.1, the following conditions are to be specified:

A2.2.1 The cooling air temperature and altitude for natural cooling.

A2.2.2 The cooling air temperature, velocity or quantity per second and altitude for forced air cooling.

A2.2.3 The cooling or heat transfer medium, the temperature of the cooling medium and the velocity or quantity per second for liquid cooling.

A2.3 *Limiting temperature values*

For diodes as defined in Sub-clauses A2.1.1 and A2.1.2, the following temperature values are to be specified:

A2.3.1 *Maximum reference point temperature*

The maximum permissible temperature at a specified measuring point on the diode at specified steady state load conditions.

A2.3.2 *Maximum virtual junction temperature*

A2.3.3 *Limits of storage temperature*

A2.4 *Thermal characteristics*

A2.4.1 *For diodes or diode stacks with cooling body*

For diodes and diode stacks as defined in Sub-clause A2.1.1, the following thermal characteristics are to be specified:

Maximum thermal resistance between the junction of the diode and the cooling medium (in the case of stacks, the maximum value of all included diodes shall be specified).

Maximum transient thermal impedance between the junction and the cooling medium.

Note. – Transient thermal impedance is preferably given in form of a diagram as shown in Figure A1, page 175.

A2.4.2 *For diodes without cooling body*

For diodes as defined in Sub-clause A2.1.2, the following thermal characteristics are to be specified:

Maximum thermal resistance between the junction and a specified point on the diode surface near to the stud or base.

Maximum thermal resistance between the same specified point and the surface of a cooling body to which the diode is attached in a specified way.

Maximum transient thermal impedance between the junction and the same specified point.

Note. – Transient thermal impedance is preferably given in form of a diagram as shown in Figure A1.

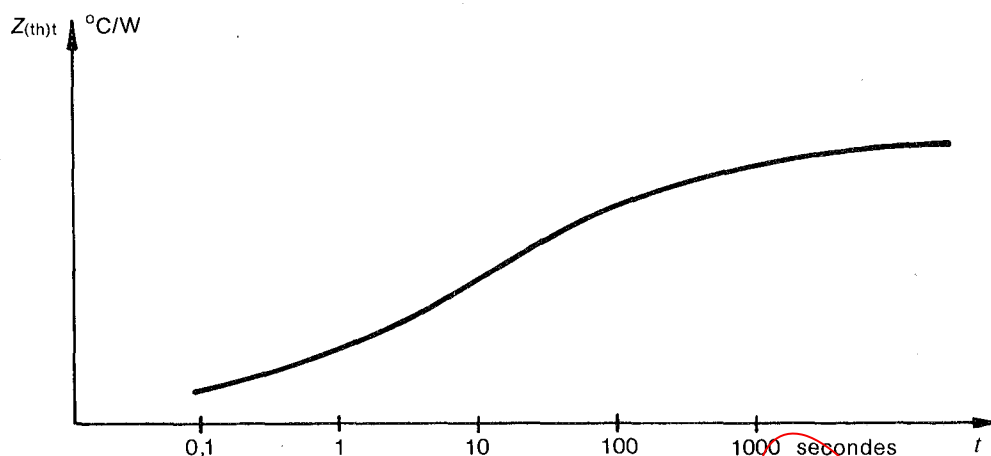


FIGURE A1

A2.5 Caractéristiques électriques limites

Sauf spécification contraire, les caractéristiques limites énumérées dans ce paragraphe s'entendent pour la température maximale virtuelle de la jonction. D'autres précisions, telles que durée admissible, fréquence de répétition, fréquence maximale ou minimale, etc., applicables aux caractéristiques normales devront être données.

A2.5.1 Tension inverse maximale admissible de pointe répétitive

A2.5.2 Tension inverse maximale admissible de pointe non répétitive

A2.5.3 Courant direct moyen maximal

La valeur devra être imposée pour les conditions nominales de refroidissement (paragraphe A2.2) dans le cas des diodes fournies avec refroidisseurs ou pour des valeurs limites spécifiées de température (paragraphe A2.3). C'est le courant direct moyen qu'une diode peut conduire continuellement en montage monophasé, 180° de conduction et sur charge résistive.

De plus, les facteurs de correction ou les valeurs maximales de courant moyen dans les mêmes conditions seront donnés séparément pour des durées de conduction de 60° et de 120° et sur charges résistive et inductive et pour une conduction permanente.

A2.5.4 Courant direct de surcharge prévisible

Dans le cas où des renseignements sont donnés sur le courant direct de surcharge prévisible, il y a lieu aussi d'indiquer la température maximale virtuelle de la jonction et l'impédance thermique transitoire maximale. En outre, les valeurs nominales du courant de surcharge peuvent être données par des courbes.

A2.5.5 Courant direct maximal de surcharge accidentelle

La valeur du courant direct de surcharge accidentelle sera donnée pour deux échelles de temps et sous la forme suivante:

- Pour des temps inférieurs à une demi-onde (à 50 Hz ou 60 Hz) jusqu'à environ 1 ms, les valeurs seront données en fonction de $\int i^2 dt$ maximale nominale. Elles peuvent être données par une courbe ou par des valeurs singulières. On n'admet aucune application immédiate de tension inverse.

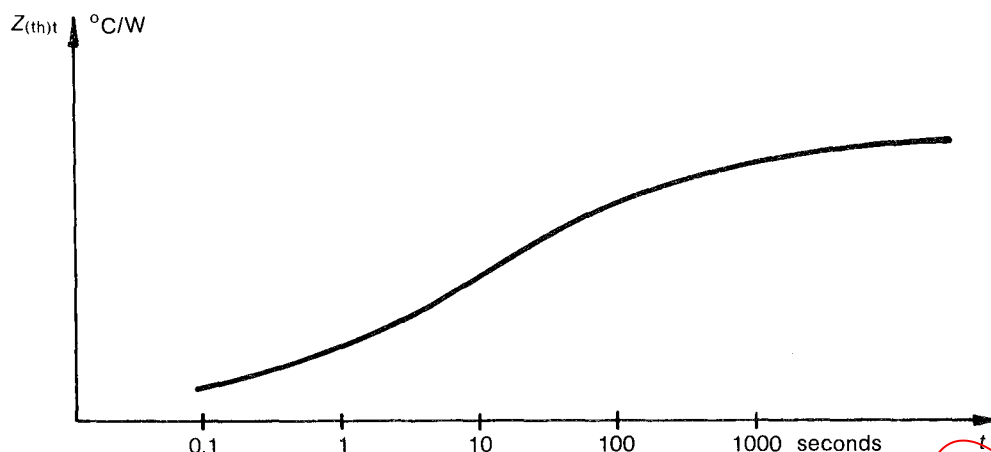


FIGURE A1

A2.5 Limiting electrical values

All limiting values listed in this sub-clause shall be referred to the rated maximum virtual junction temperature if not otherwise specifically mentioned. The maximum and/or minimum frequency as well as all other qualifications, e.g. permissible duration, repetition frequency, etc., applicable to given values shall be stated.

A2.5.1 Maximum permissible repetitive peak reverse voltage

A2.5.2 Maximum permissible non-repetitive peak reverse voltage

A2.5.3 Maximum mean forward current

The value shall be assigned for specified cooling conditions (Sub-clause A2.2) in the case of diodes supplied with cooling bodies or for specified limiting temperature values (Sub-clause A2.3). It is the mean forward current which a rectifier diode is capable of carrying continuously in a single phase connection with 180° conduction angle and resistive load.

In addition, conversion factors or maximum mean forward current values for equal conditions shall be given separately, applicable to 60° and 120° conduction angles with resistive and inductive d.c. loads and to continuous conduction.

A2.5.4 Overload forward current

If information regarding permissible overload current is given, this must be done by stating the rated maximum virtual junction temperature and the maximum transient thermal impedance. In addition, rated values on overload current may be given by means of diagrams.

A2.5.5 Maximum surge forward current

Rated values for surge forward current shall be given for two time regions:

- a) For times smaller than one half-cycle (at 50 Hz or 60 Hz) down to approximately 1 ms, the values shall be given in terms of maximum rated $\int i^2 dt$. They may be given by means of a curve or by single values. No immediate subsequent application of reverse blocking voltage is assumed.

- b) Valeurs maximales du courant de surcharge accidentelle en fonction du temps jusqu'à 10 cycles minimum. La fréquence, le temps de conduction, la forme d'onde du courant et la tenue en tension inverse incluant le taux de variation de la tension seront spécifiés après et entre les intervalles de surcharge.

Dans tous les cas, on partira de la température maximale virtuelle de la jonction, sauf spécification contraire.

A2.5.6 *Puissance inverse répétitive (pour diodes de redressement à avalanche)*

Les valeurs nominales seront données pour:

- a) puissance inverse moyenne calculée sur la période complète;
- b) puissance inverse de pointe.

Pour les valeurs limites de puissance dissipée en inverse, on suppose que la puissance dissipée en direct est nulle. Quand ces deux puissances, directe et inverse, ont lieu toutes les deux pour une certaine application, on devra se référer aux informations données par le constructeur du dispositif.

La puissance inverse dissipée, moyenne ou de pointe, doit être donnée pour une température virtuelle spécifiée de la jonction.

A2.5.7 *Dissipation d'énergie de surcharge accidentelle en inverse (pour diodes de redressement à avalanche)*

Des valeurs nominales seront données pour une durée spécifiée de la surcharge et pour des conditions spécifiées de température virtuelle de la jonction, en admettant que les pertes directes sont nulles.

Quand il y a dissipation de puissance simultanément en inverse et en direct, on devra se référer aux informations données par le constructeur.

A2.6 *Caractéristiques électriques*

A2.6.1 *Caractéristique directe*

Tension directe instantanée en fonction du courant direct instantané à 25 °C et à la température virtuelle maximale de la jonction.

A2.6.2 *Courant inverse instantané maximal*

Pour la tension crête inverse maximale répétitive et pour toute la zone de température virtuelle de la jonction en fonctionnement.

A2.6.3 *Charge de recouvrement maximal*

Valeur maximale de la charge pour une amplitude et un taux de décroissance du courant direct précédant le recouvrement, pour une tension inverse appliquée et pour une température virtuelle de jonction spécifiée.

A2.6.4 *Pertes totales*

Courbe donnant la perte totale en fonction du courant moyen direct à la moitié de la tension inverse maximale répétitive et dans les conditions de courant moyen définies au paragraphe A2.5.3.

A2.6.5 *Tension de seuil*

Une approximation recommandée de la caractéristique directe tension-courant est donnée par une droite coupant cette caractéristique à 0,5 et 1,5 fois la valeur de crête du courant direct maximum $I_{F(AV)M}$ défini au paragraphe A2.5.3.

- b) Maximum values of surge forward current versus time up to at least 10 cycles. The frequency, the conducting period length, the current waveshape and the reverse blocking voltage capability including the rate of rise of voltage for the intervals after and between the surges shall be specified.

In either case a previous application of rated maximum virtual junction temperature shall be assumed if not otherwise specifically mentioned.

A2.5.6 Repetitive reverse power dissipation (for avalanche rectifier diodes)

Rated values shall be given for:

- a) full cycle mean reverse power dissipation;
- b) peak reverse power dissipation.

In both cases zero forward power losses are assumed. When both forward and reverse power occur in an application; reference should be made to manufacturer's application information.

The rated values shall be given for specified virtual junction temperature conditions.

A2.5.7 Reverse surge energy dissipation (for avalanche rectifier diodes)

Rated values shall be given for specified surge duration and specified virtual junction temperature conditions.

Zero forward power losses are assumed. When both forward and reverse power dissipation occur simultaneously in an application, reference should be made to the manufacturer's application information.

A2.6 Electrical characteristics

A2.6.1 Forward characteristic

The range of forward voltage as a function of instantaneous forward current at 25 °C and maximum virtual junction temperature.

A2.6.2 Maximum instantaneous reverse current

For rated repetitive peak reverse voltage and for the whole range of working virtual junction temperature.

A2.6.3 Maximum recovery charge

Maximum value at specified values of amplitude, decay rate of previous forward current, reverse voltage and virtual junction temperature.

A2.6.4 Total power loss

A curve showing the maximum total power loss as a function of mean forward current at half the maximum repetitive peak reverse voltage and for the same circuit conditions as for the rated mean forward current (Sub-clause A2.5.3).

A2.6.5 Threshold voltage

A recommended approximation of the forward voltage current characteristic curve is a straight line crossing the characteristic at 0.5 and 1.5 times the peak value of rated maximum mean forward current $I_{F(AV)M}$ as specified in Sub-clause A2.5.3.

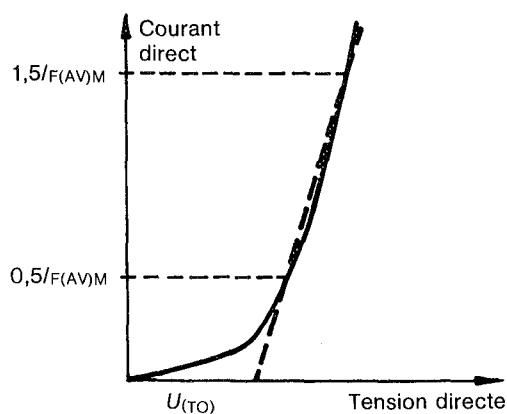


FIGURE A2

A2.6.6 *Pente de la résistance directe*

Valeur se rapportant à la tension de seuil (paragraphe A2.6.5).

A3. **Essais pour diodes et éléments redresseurs**

A3.1 *Généralités*

A3.1.1 Les essais de type (paragraphe 141.1) doivent être réalisés selon le tableau suivant (paragraphe A3.2).

Ces essais seront faits dans les conditions limites spécifiées et utilisées par le constructeur comme valeurs et caractéristiques nominales de base.

A3.1.2 Les essais individuels (définis au paragraphe 141.2) sont considérés comme un minimum. En général, il est prévu que le constructeur soumette toute sa production aux essais individuels selon le tableau ci-dessous, au minimum. Par accord entre le constructeur et l'utilisateur, ces essais peuvent néanmoins être réalisés non pas sur toute la production mais comme essais statistiques d'échantillons.

Après chaque essai de type, les diodes devront satisfaire aux exigences des essais individuels.

A3.1.3 Pour les mesures en courant alternatif, on peut inclure des diodes auxiliaires dans les circuits de la source afin de protéger les amplificateurs de l'oscilloscope des impulsions demi-onde indésirables.

Quand on effectue des mesures de faibles courants inverses, il peut être nécessaire de prendre des précautions convenables pour éviter de collecter des parasites, par exemple d'utiliser un transformateur à écran et une mise à la terre convenable.

De plus, on s'attachera soigneusement à maintenir l'inductance résiduelle aussi faible que possible, spécialement pour les dispositifs à fort courant.

Les alimentations en courant alternatif devront avoir une fréquence de 50/60 Hz.

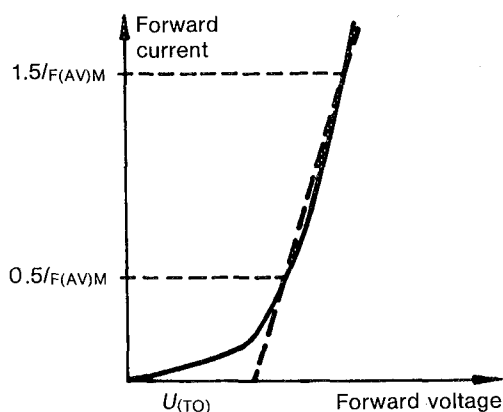


FIGURE A2

A2.6.6 Forward slope resistance

A value related to the threshold voltage value (Sub-clause A2.6.5).

A3. Tests for diodes and diode stacks

A3.1 General

A3.1.1 Type tests (Sub-clause 141.1) shall be carried out in accordance with the following summary (Sub-clause A3.2).

These tests shall be made under the limiting specified conditions used by the manufacturer as a basis of assigning rated values and characteristics.

A3.1.2 The stated routine tests (Sub-clause 141.2) are required as a minimum. In general it is expected that device manufacturer will subject all production to the minimum routine tests as listed below. If agreed between user and manufacturer these same tests may however be performed not on all production but by a statistical sampling procedure.

After each type test, the diodes shall fulfil the requirements of the routine tests.

A3.1.3 For a.c. measurements, auxiliary diodes may be included in source circuits to protect the amplifiers in the oscilloscope from unwanted half-cycle pulses.

Where low reverse currents are being measured, it may be necessary to take suitable precautions to avoid pick-up, e.g. a screened transformer and suitable earthing.

In addition, particular care should be taken to keep residual inductance as low as possible, especially for high current devices.

The applied a.c. supplies shall have a frequency of 50/60 Hz.

A3.2 Tableau des essais

	Essai de type	Essai individuel	Spécification (paragraphe)
Courant direct de surcharge	x	x	A3.3
Caractéristique directe	x		A3.4
Tension directe		x	A3.4
Caractéristique inverse	x		A3.5
Courant inverse		x	A3.6
Tension inverse	x	x	A3.7
Courant inverse de recouvrement	x		A3.8
Résistance thermique et impédance thermique transitoire	x		A3.9
Essai de cycle thermique	x		A3.10
Essai de charge	x		A3.11
Essai mécanique	x		A3.12
Essai d'isolement (pour éléments seulement)	x	x	A3.13
Essai d'échauffement (pour éléments seulement)	x		A3.14

A3.3 Essai de courant de surcharge prévisible à l'état passant

Cet essai est réalisé en faisant circuler un nombre spécifié de demi-ondes sinusoïdales de 50/60 Hz de courant de surcharge prévisible dans le dispositif en mesure, et en appliquant des demi-ondes 50/60 Hz de tension inverse spécifiée entre les impulsions de courant. La tension inverse en demi-onde peut être appliquée pendant un temps spécifié avant et après l'intervalle d'essai du courant de surcharge prévisible.

Les conditions d'essai suivantes seront spécifiées:

- valeur de crête de la demi-onde sinusoïdale du courant de surcharge prévisible;
- valeur de crête de la demi-onde sinusoïdale de la tension en inverse qui doit être égale à la tension inverse nominale répétitive;
- nombre de demi-ondes de courant de surcharge prévisible;
- temps d'application de la tension inverse avant et après les impulsions de courant;
- température virtuelle de jonction du dispositif en essai.

Un circuit de mesure est représenté par la figure A3.

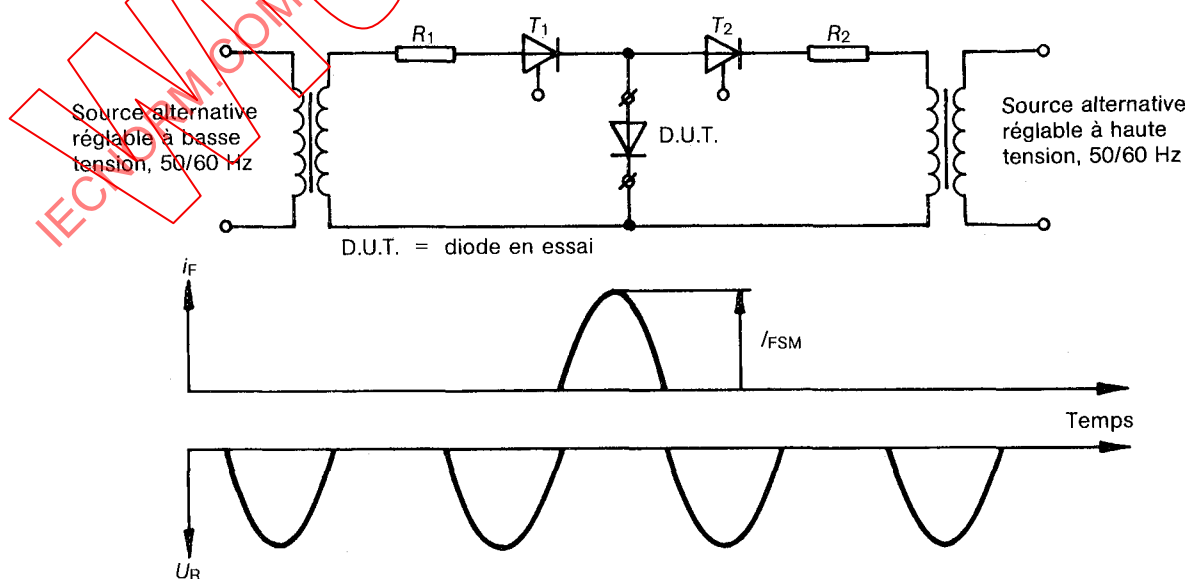


FIGURE A3

A3.2 Test summary

	Type test	Routine test	Specification (Sub-clause)
Surge forward current	x	x	A3.3
Forward characteristic	x		A3.4
Forward voltage		x	A3.4
Reverse characteristic	x		A3.5
Reverse current		x	A3.6
Reverse voltage	x	x	A3.7
Reverse recovery charge	x		A3.8
Thermal resistance and transient thermal impedance	x		A3.9
Thermal cycling test	x		A3.10
Load test	x		A3.11
Mechanical test	x		A3.12
Insulation test (for stacks only)	x	x	A3.13
Temperature rise test (for stacks only)	x		A3.14

A3.3 Surge forward current test

This test is performed by passing a specified number of 50/60 Hz half sine-waves of surge current through the test device with specified 50/60 Hz half-cycle reverse voltage applied between the current pulses. Half-cycle reverse voltage may be applied for a specified time before and after the surge current test interval.

The test conditions to be specified are:

- peak half-sine-wave surge current;
- peak half-sine-wave reverse voltage equal to rated repetitive peak reverse voltage;
- number of half-cycles of surge current;
- duration of reverse voltage before and after current surges;
- virtual junction temperature of test device.

A suitable test circuit is shown in Figure A3.

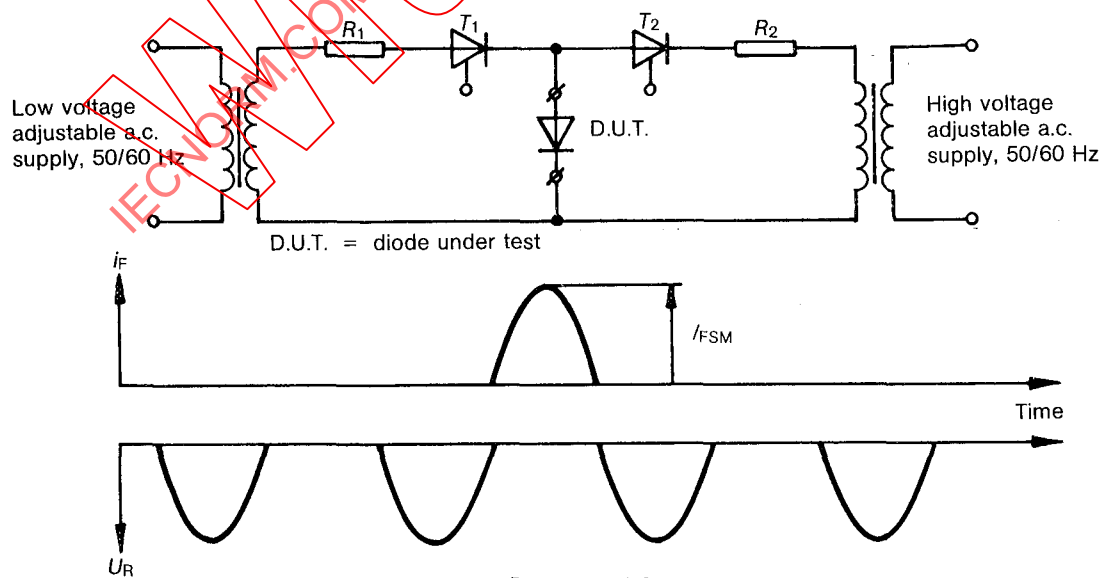


FIGURE A3

Le thyristor T_1 est amorcé au commencement de la demi-onde de la source c.a. afin de produire un demi-cycle de courant de surcharge prévisible. Le thyristor T_2 est amorcé un peu après le commencement de la demi-onde suivante de la source c.a. afin d'appliquer une tension inverse demi-onde au dispositif en essai. Le retard d'amorçage est tel que le thyristor T_1 est dans l'état bloqué avant qu'une tension inverse soit appliquée.

A3.4 Essai de détermination de la caractéristique directe et essai de tension directe

A3.4.1 Tension directe - méthode en courant alternatif (utilisée de préférence pour les essais de type)

La tension directe est mesurée dans un circuit donnant une forme d'onde de courant direct correspondant à une connexion monophasée avec charge résistive.

La température virtuelle de la jonction doit être celle spécifiée par le constructeur.

Un circuit de mesure est représenté par la figure A4.

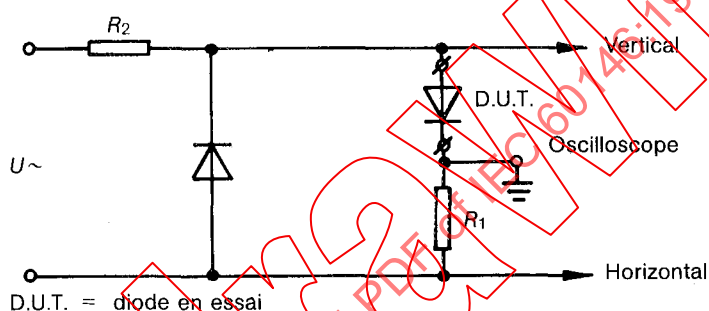


FIGURE A4

A3.4.2 Tension directe - méthode par impulsions (utilisée de préférence pour les essais individuels)

Cette méthode permet de mesurer la tension directe dans des conditions d'échauffement interne négligeables ou à un niveau de courant susceptible d'endommager la diode s'il était maintenu en permanence.

Un circuit de mesure est représenté par la figure A5.

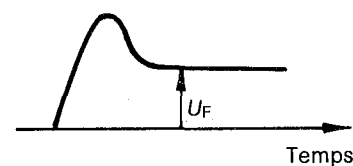
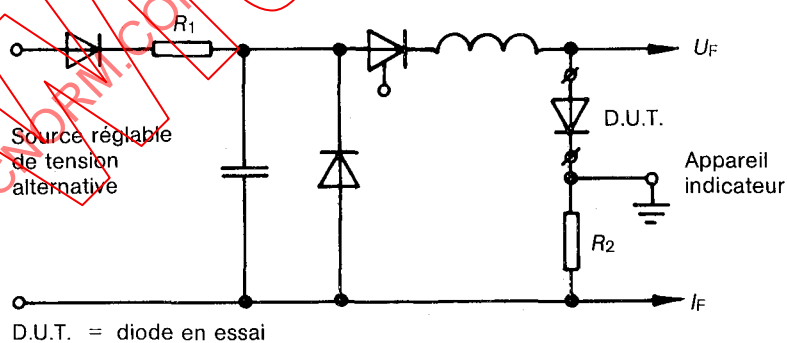


FIGURE A5

Thyristor T_1 is triggered at the beginning of the proper half-cycle of the a.c. supply to produce a half-cycle of surge current. Thyristor T_2 is triggered just slightly after the start of the next half-cycle of the a.c. supply in order to apply half-cycle reverse voltage to the test device. The trigger delay is to ensure that thyristor T_1 will be off before reverse voltage is applied.

A3.4 Forward characteristic and forward voltage test

A3.4.1 Forward voltage – a.c. method (preferably used for type test)

The forward voltage shall be measured in a connection giving a forward current wave shape corresponding to a single phase connection with resistive load.

The virtual junction temperature of the diode shall be as specified by the manufacturer. A measuring circuit is given in Figure A4.

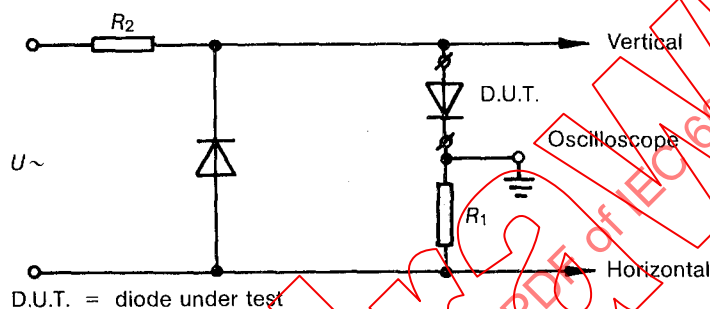


FIGURE A4

A3.4.2 Forward voltage – pulse method (preferably used for routine test)

This method allows a measurement of the forward voltage under the condition of negligible internal heating or at a current level that would damage the diode if maintained continuously.

A measuring circuit is given in Figure A5.

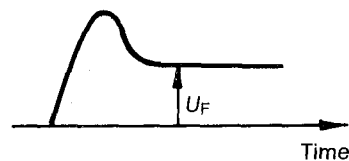
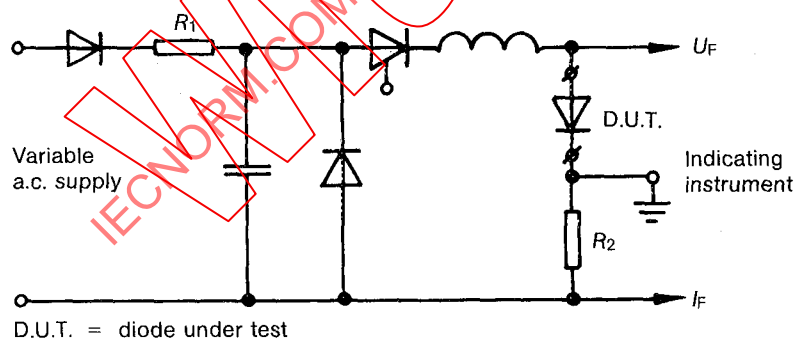


FIGURE A5

Le cycle de travail de l'impulsion de courant, la fréquence de répétition, et la température virtuelle de la jonction doivent être spécifiés.

L'essai est effectué en mesurant la tension de crête à l'état passant correspondant au courant de crête à l'état passant. La largeur de l'impulsion du courant d'essai doit être assez grande pour que le dispositif essayé soit amené au régime permanent. (Une largeur d'impulsion de 3 à 4 millisecondes est généralement suffisante.) Le cycle de travail et la vitesse de répétition doivent être tels que l'échauffement interne du dispositif soit négligeable.

La capacité est chargée à la tension de crête de l'alimentation alternative. Pendant la demi-période suivante de la tension d'alimentation, le thyristor est amorcé, ce qui a pour effet de décharger la capacité à travers l'inductance et le dispositif en essai. On peut connaître le courant d'essai en mesurant la tension aux bornes d'une résistance R_2 non inductive de faible valeur.

A3.5 Essai de caractéristique inverse

La caractéristique inverse doit être mesurée à vide dans un circuit donnant une tension inverse correspondant à un montage monophasé.

Les mesures seront effectuées à la valeur nominale de la tension inverse maximale et à une valeur élevée de température virtuelle spécifiée de la jonction.

Un circuit de mesure de la caractéristique inverse est représenté par la figure A6.

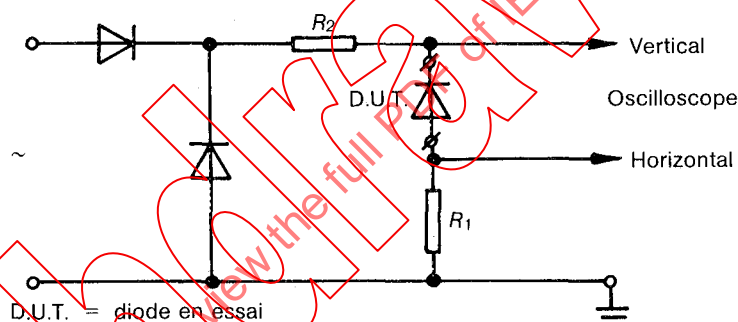


FIGURE A6

A3.6 Essai de courant inverse

Un circuit de mesure est représenté par la figure A7.

L'essai sera effectué à une tension égale à la valeur nominale de la tension inverse de crête répétitive et à la valeur nominale de la température virtuelle maximale de la jonction.

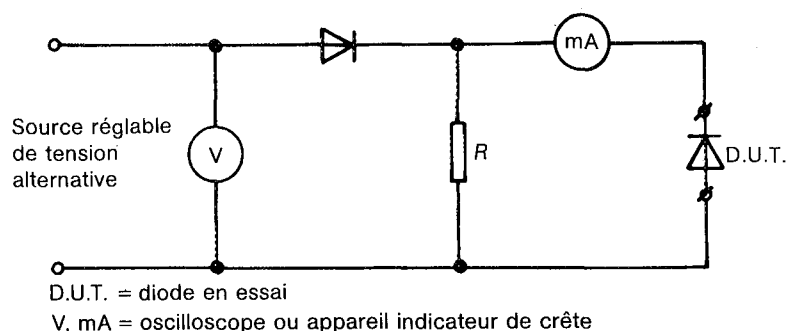


FIGURE A7

The duty cycle of the current pulse, the repetition frequency and the virtual junction temperature shall be as specified.

The test is performed by measuring the peak forward voltage corresponding to the peak forward current. The test current pulse width must be wide enough to ensure that the tested device has obtained its steady state. (A pulse width of 3–4 milliseconds is generally sufficient.) The duty cycle and repetition rate are to be such that internal device heating is negligible.

The capacitor is charged to the peak of the a.c. supply voltage. On the next half-cycle of the supply voltage, the thyristor is triggered, which results in the capacitor discharging through the inductor and tested device. The test current may be sensed across a small value non-inductive resistor R_2 .

A3.5 Reverse characteristic test

The reverse characteristic shall be measured in a connection giving a reverse voltage corresponding to a single phase connection at no-load.

The measurements shall be carried out at maximum value of rated reverse voltage and at a specified high virtual junction temperature.

A circuit to measure the reverse characteristic is given in Figure A6.

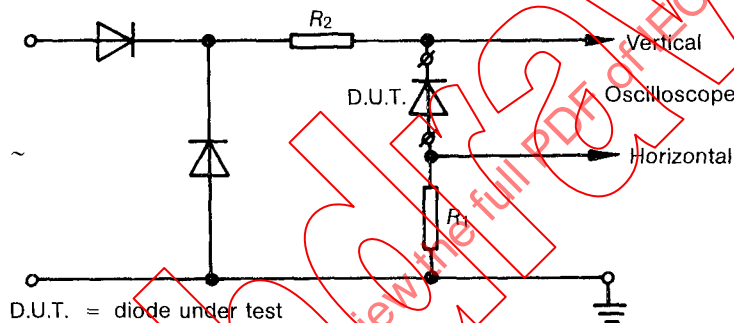


FIGURE A6

A3.6 Reverse current test

Figure A7 shows a suitable test circuit.

The test shall be performed at a voltage equal to rated repetitive peak reverse voltage and rated maximum virtual junction temperature.

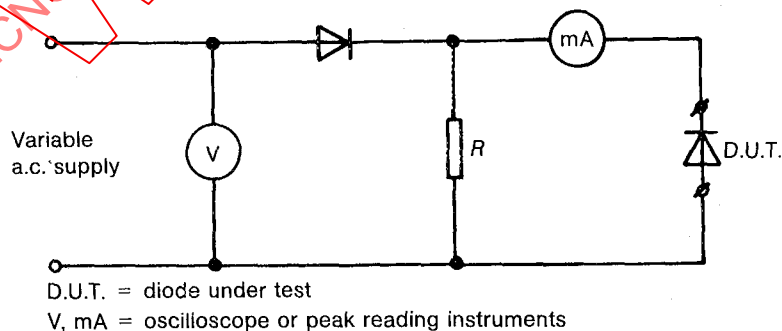


FIGURE A7

A3.7 Essai de tension inverse

Chaque diode ou élément sera soumis à un demi-cycle d'une tension sinusoïdale avec une valeur de pointe, mesurée aux bornes de la diode égale à la valeur nominale de la tension maximale de pointe non répétitive inverse.

L'essai doit être effectué à la température virtuelle nominale maximale de la jonction. Un circuit de mesure est représenté par la figure A8.

Le thyristor est amorcé par une seule impulsion de gâchette au commencement de la demi-onde de la tension alternative de la source.

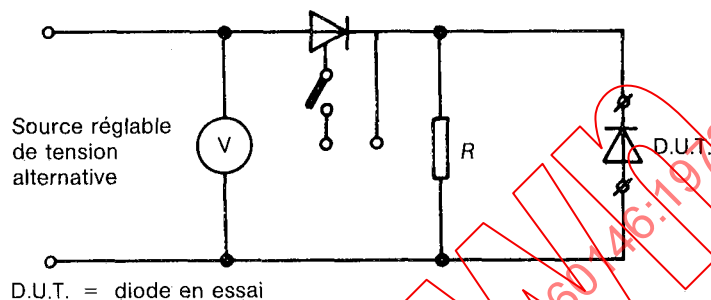


FIGURE A8

A3.8 Essai de recouvrement de charge inverse

Un circuit pour mesurer les caractéristiques de recouvrement de charge inverse est représenté ci-dessous, ainsi que la forme d'onde du courant d'essai. Le temps de recouvrement, la charge de recouvrement ainsi que le courant de recouvrement peuvent être mesurés avec ce circuit.

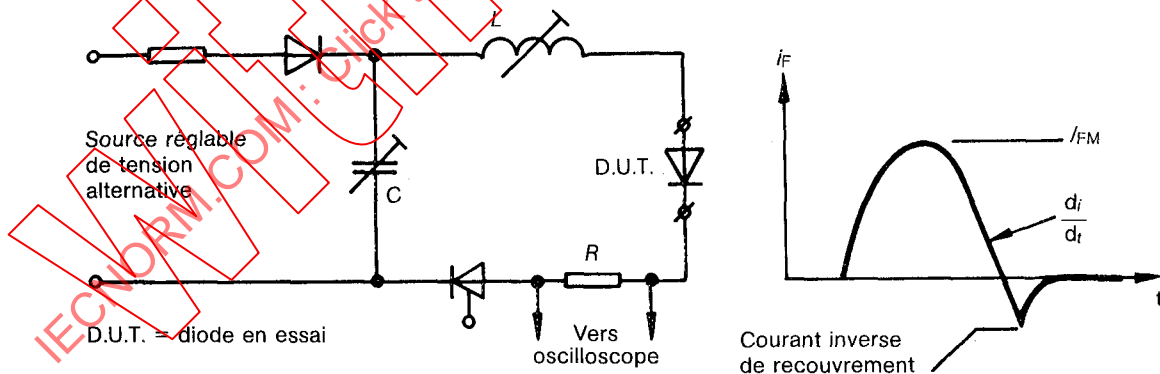


FIGURE A9

La forme d'onde du courant d'essai est produite en chargeant une capacité C pendant une demi-période de la tension d'alimentation, et ensuite en amorçant dans la demi-période suivante le thyristor pour décharger C au travers de l'inductance L et du dispositif en essai.

Une résistance non inductive R de mesure de courant de valeur très faible ainsi que les valeurs de L et C déterminent les caractéristiques du circuit d'essai.

A3.7 Reverse voltage test

Each diode or stack shall be subjected to one half-cycle sinusoidal voltage having a peak value, measured across the diode, equal to the rated maximum non-repetitive peak reverse voltage.

The test shall be performed at maximum virtual junction temperature.

A suitable test circuit is shown in Figure A8.

The thyristor is turned on by one single gate pulse at the beginning of a half-cycle of the alternating supply voltage.

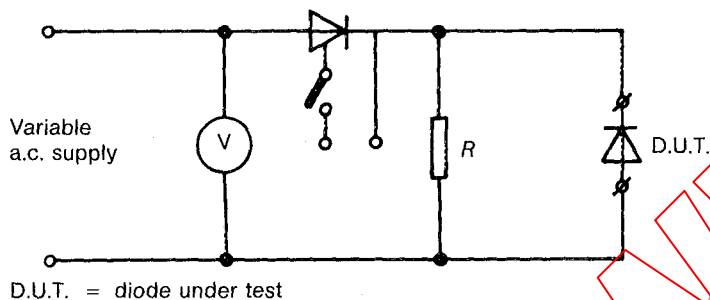


FIGURE A8

A3.8 Reverse recovery charge test

A suitable test circuit for measuring reverse recovery characteristics is shown below along with the test current waveform. Recovery time and recovery charge as well as recovery current can be measured by means of this circuit.

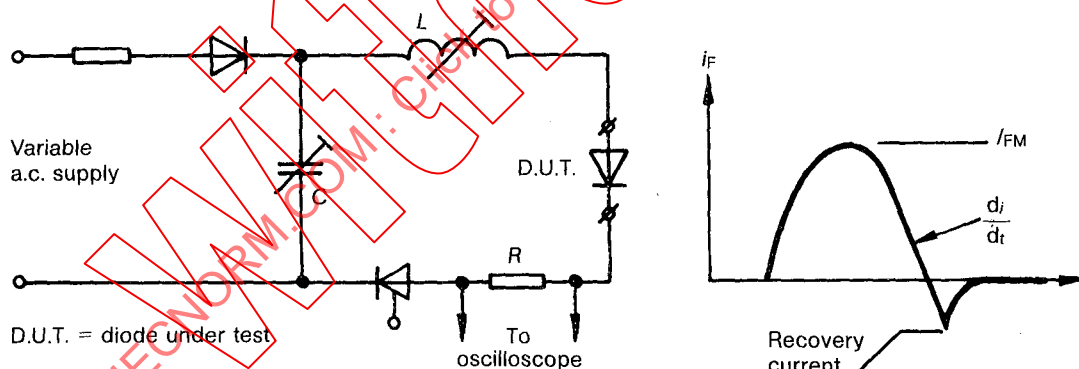


FIGURE A9

The test current waveform is produced by charging capacitor C during one half-cycle of the input voltage and then on the next half-cycle triggering the thyristor to discharging C through inductor L and the test device.

Non-inductive current sensing resistor R is made extremely small so that the values of L and C determine the characteristics of the test current.

Les conditions d'essai sont:

- a) courant direct de pointe I_{FM} ;
- b) vitesse d'inversion du courant direct (di/dt) mesurée depuis 50% I_{FM} jusqu'à $i_F = 0$;
- c) largeur de base de l'impulsion de courant à l'état passant;
- d) fréquence de répétition (facteur de travail 1%);
- e) température virtuelle de la jonction du dispositif en essai.

A3.9 Essai de résistance thermique et d'impédance thermique transitoire

A3.9.1 Introduction

La mesure de la résistance thermique et de l'impédance thermique transitoire est basée sur l'emploi d'un paramètre sensible à la température servant d'indicateur de la température virtuelle de la jonction. La chute de tension directe d'une diode de redressement, pour une valeur de courant égale à un petit pourcentage de la valeur moyenne maximale de celui-ci, est normalement employée comme paramètre sensible à la température.

A3.9.2 Résistance thermique R_{th}

La résistance thermique est donnée par:

$$R_{th} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{P_2 - P_1}$$

où R_{th} = résistance thermique
 θ = température du point de référence
 P = puissance dissipée

La puissance P_1 est fournie et la température du point de référence θ_1 est mesurée, en utilisant des valeurs de puissance et de température à l'intérieur des valeurs limites du dispositif.

La puissance P_1 est supprimée afin de permettre la mesure de la température virtuelle de jonction, au moyen de la tension directe au courant de référence, apparaissant immédiatement après la suppression de P_1 .

La puissance P_2 est alors fournie et le dispositif chauffé de l'extérieur jusqu'à ce que la même température virtuelle de jonction soit atteinte. θ_2 est alors mesuré.

Note — La puissance fournie peut être à courant continu ou à une fréquence suffisamment élevée pour que les fluctuations de la température virtuelle de jonction soient négligeables. La mesure de la chute de tension directe doit être faite dans un temps après l'interruption de puissance tel que les transitoires non thermiques aient décliné, mais avant que le changement de température virtuelle de jonction soit significatif.

The test conditions are:

- a) peak forward current I_{FM} ;
- b) rate of reversal of forward current (di/dt) measured from 50% I_{FM} to $i_F = 0$;
- c) base width of forward current pulse;
- d) test repetition rate (duty factor 1%);
- e) virtual junction temperature of test device.

A3.9 Thermal resistance and transient thermal impedance test

A3.9.1 Introduction

The measurement of thermal resistance and transient thermal impedance is based on the use of a temperature-sensitive parameter as an indicator of virtual junction temperature. The forward voltage of the diode at a small percentage of maximum mean forward current is normally used as the temperature-sensitive parameter.

A3.9.2 Thermal resistance R_{th}

The thermal resistance is given by:

$$R_{th} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{P_2 - P_1}$$

where R_{th} = thermal resistance

θ = reference point temperature

P = power dissipation

Power P_1 is applied, and the reference point temperature θ_1 is measured, using values of power and temperature within the device ratings.

The power P_1 is interrupted to permit measurement of the virtual junction temperature by means of the forward voltage of the diode with a reference current flowing immediately after the interruption of P_1 .

Power P_2 is then applied, and the device is heated externally until the same value of virtual junction temperature is obtained. θ_2 is then measured.

Note. – The power applied should be either d.c. or of a sufficiently high frequency that the fluctuation of the virtual junction temperature is negligible. The measurement of forward voltage of the diode should be made at a time following the power interruption(s) such that the non-thermal transients have decayed, but before the change of virtual junction temperature is significant.

A3.9.3 Impédance thermique transitoire

On prépare une courbe d'étalonnage du dispositif en mesurant la chute de tension directe, pour la valeur choisie du courant de mesure en fonction de la température virtuelle de la jonction; pour cela, on fait varier extérieurement la température du dispositif, par exemple au moyen d'un bain d'huile.

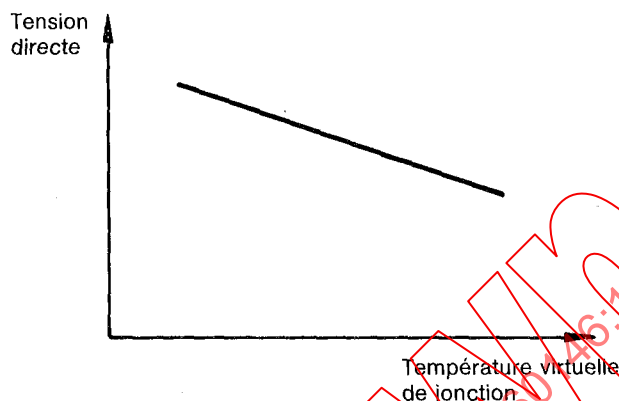


FIGURE A10

On peut employer un circuit de mesure tel que celui de la figure A11 pour obtenir les données requises pour le calcul de la courbe caractéristique de l'impédance thermique transitoire. Après avoir fait circuler le courant de chauffage, et après avoir attendu que l'équilibre thermique soit atteint, on mesure et on note la puissance dissipée dans le dispositif. On coupe alors la source de courant de chauffage et on note la tension directe correspondant au courant de mesure, en fonction du temps comme indiqué sur la figure A12. Ceci peut être effectué en photographiant la trace de l'oscilloscope. La mesure peut être répétée pour différentes vitesses de balayage de l'oscilloscope, afin de mesurer convenablement la chute de tension directe pour tout le domaine de temps. On doit contrôler la température du point de référence en fonction du temps. Comme ce changement est relativement petit et lent, un dispositif de mesure à thermistor ou à thermocouple devrait pouvoir convenir.

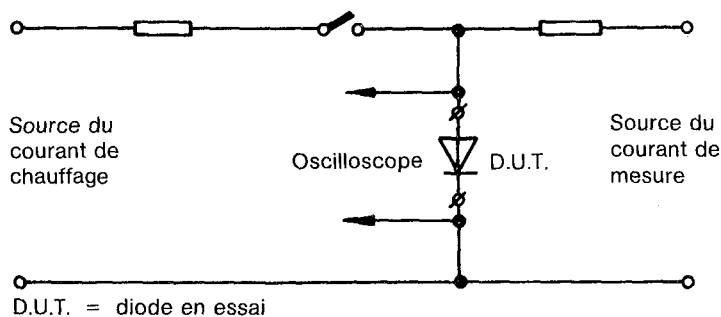


FIGURE A11

A3.9.3 Transient thermal impedance

A calibration curve is prepared for the device by measuring the forward voltage of the diode at the selected value of measuring current, as a function of virtual junction temperature, by varying the device temperature externally, e.g. by means of an oil bath.

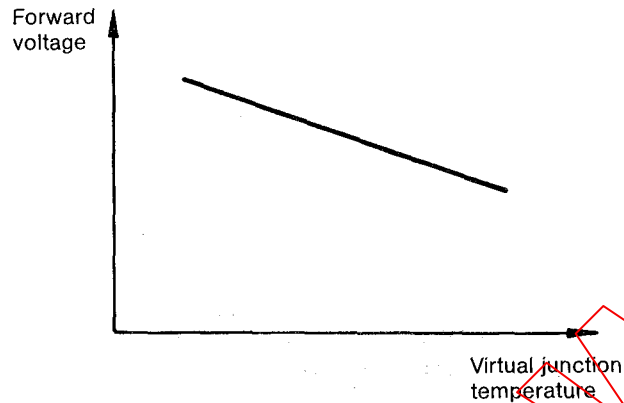


FIGURE A10

A measuring circuit as shown in Figure A11 may be used to obtain the data required for calculating the transient thermal impedance characteristic curve. After applying the heating current and waiting until thermal equilibrium is established, the power dissipated in the device is measured and recorded. The heating current supply is then interrupted, and the forward voltage of the diode corresponding to the measuring current supply is recorded as a function of time, as shown in Figure A12. This may be accomplished by photographing the oscilloscope trace. The measurement may be repeated at different oscilloscope sweep rates in order adequately to measure the forward voltage of the diode over the entire time range. Reference point temperature should be monitored as a function of time. Since this change is relatively small and slow, a thermistor or thermocouple measuring system should be adequate.

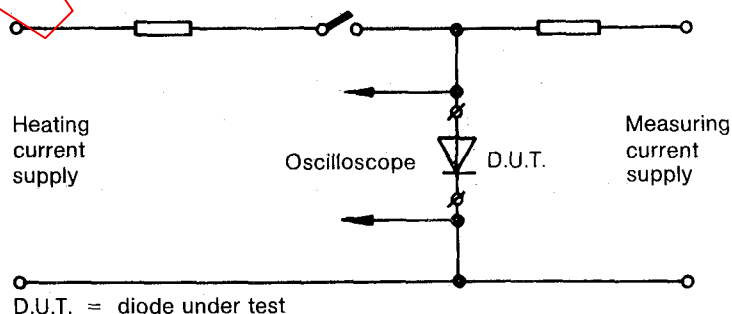


FIGURE A11

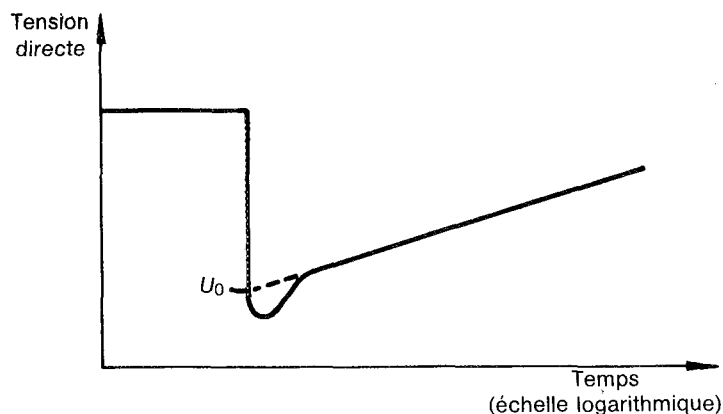


FIGURE A12

La courbe de tension directe en fonction du temps peut être transformée en courbe de la température virtuelle de la jonction en fonction du temps, au moyen de la courbe d'étalonnage. L'impédance thermique transitoire est alors calculée comme suit:

$$Z_{(th)t} [t] = \frac{(A-B) - (A'-B')}{P}$$

où A = température virtuelle de la jonction au moment de l'interruption du courant de chauffage

A' = température virtuelle de la jonction au temps t secondes après l'interruption du courant de chauffage

P = puissance dissipée dans le dispositif

B = température du point de référence au moment de l'interruption du courant de chauffage

B' = température du point de référence au temps t secondes après l'interruption du courant de chauffage

$Z_{(th)t} [t]$ = impédance thermique transitoire au temps t .

A3.9.4 Précautions

Les difficultés de cette méthode de mesure sont dues à l'ambiguïté existant dans la détermination de la valeur de la température virtuelle de la jonction au moment de l'interruption du courant.

Des tensions transitoires non thermiques se produisent par suite des porteurs de charge excédentaires qui sont présents après l'interruption du courant de chauffage. Cette difficulté peut être évitée en extrapolant la courbe de la chute de tension directe en fonction du temps, depuis un instant pour lequel on sait qu'il y a équilibre des charges dans le dispositif jusqu'à l'instant zéro. Cet instant (pour lequel il y a équilibre) peut être estimé à partir d'observations de la durée de vie (des porteurs) ou en effectuant les mesures à différents niveaux de puissance, et en notant le temps le plus court pour lequel la température virtuelle de la jonction est une fonction linéaire de la dissipation de puissance. La partie en pointillé sur la courbe de la tension à l'état passant de la figure A12 illustre l'extrapolation jusqu'au point marqué U_0 .

Une autre source de transitoires non thermiques dans la caractéristique de la chute de tension directe a son origine dans la chute brusque de champ magnétique autour du dispositif quand on coupe le courant de chauffage. Un exemple de l'importance de ce problème est donné par les diodes ayant des courants de 10 ampères ou plus et montées dans des boîtiers comportant un matériau magnétique entourant le conducteur. Des temps de décroissance, de l'ordre d'une demi à une milliseconde ont été observés à cause de ce phénomène.

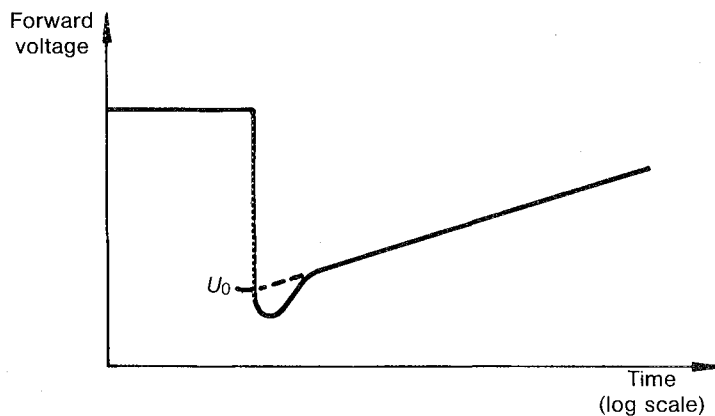


FIGURE A12

The curve of forward voltage as a function of time can be converted to virtual junction temperature versus time by means of the calibration curve. Transient thermal impedance is calculated as follows:

$$Z_{(th)t} [t] = \frac{(A - B) - (A' - B')}{P}$$

where A = virtual junction temperature at the time of heating current interruption

A' = virtual junction temperature at time t seconds after heating current interruption

P = power dissipated in the device

B = reference point temperature at the time of heating current interruption

B' = reference point temperature at time t seconds after heating current interruption

$Z_{(th)t} [t]$ = transient thermal impedance at time t .

A3.9.4 Precautions

Difficulties with this measurement method are due to ambiguity in determining the value of virtual junction temperature at the time of current interruption.

Non-thermal voltage transients occur due to the excess charge carriers present after the heating current is interrupted. This difficulty can be avoided by extrapolating the forward voltage versus time curve back to zero time from a time at which the device is known to be in charge equilibrium. This time can be estimated from life time observation or by performing the measurements at different power levels and noting the shortest time for which the virtual junction temperature is a linear function of power dissipation. The dotted portion of the forward voltage curve in Figure A12 illustrates the extrapolation to the point shown as U_0 .

Another source of non-thermal transients in the forward voltage characteristic is due to the collapse of the magnetic field around the device when the heating current is interrupted. An example of where this problem may be significant is when currents of 10 amperes or more are used with diodes housed in packages having a magnetic material encircling the conductor. Decay times in the order of one-half to one millisecond have been observed due to this phenomenon.

A3.10 Essai de charge en cycle thermique

Cet essai sera réalisé comme un essai de durée de vie pour confirmer qu'un certain type de diode est capable de supporter des fluctuations de température de jonction. Un circuit d'essai est représenté par la figure A13.

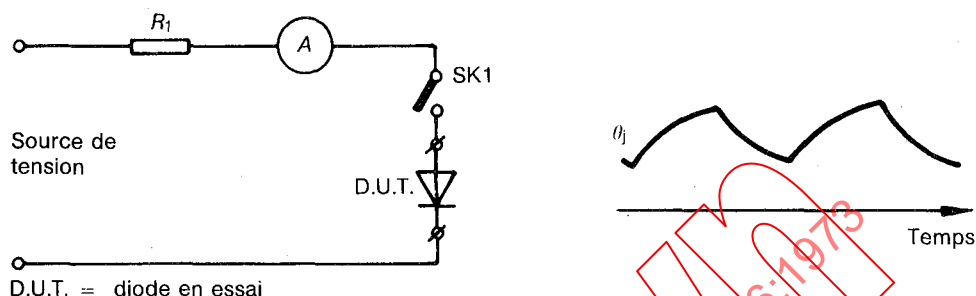


FIGURE A13

La diode sera chauffée par un courant spécifié, pas plus grand que le courant direct moyen maximal jusqu'à ce que la température maximale de la jonction spécifiée soit atteinte. L'interrupteur $SK1$ est ensuite ouvert et la diode est refroidie à une température basse spécifiée ne dépassant pas 50°C .

Le temps de chauffage et de refroidissement dépend de la méthode de refroidissement, et sera spécifié. L'essai est effectué suivant un nombre de cycles spécifié.

Tous les paramètres qui peuvent être affectés par l'essai seront mesurés avant et après l'essai pour s'assurer qu'aucun changement appréciable ne s'est passé pendant le cycle thermique.

A3.11 Essai de durée de vie à pleine charge

Cet essai est effectué en faisant passer un courant spécifié de demi-onde sinusoïdale 50/60 Hz dans le dispositif en essai, et en appliquant une tension spécifiée de demi-onde sinusoïdale 50/60 Hz pendant les demi-ondes en alternance avec celles du courant.

Le circuit de mesure et la forme d'onde de courant et de tension sont donnés dans la figure A14.

Le thyristor T_1 est amorcé au commencement de la demi-onde correcte de la source c.a. afin d'établir le courant d'essai. Le thyristor T_2 est amorcé un peu après le commencement de la demi-onde suivante de la source c.a. afin d'appliquer la tension d'essai. Le retard d'amorçage est tel que le thyristor T_1 est dans l'état bloqué avant qu'une tension inverse soit appliquée.

Les conditions de mesure à spécifier sont les suivantes:

- amplitude du courant d'essai;
- amplitude de la tension d'essai;
- durée d'essai;
- température d'un point de référence du dispositif en essai.

A3.10 Thermal cycling load test

This test shall be carried out as a life test to confirm that a certain diode type is capable of withstanding fluctuations in junction temperature. A test circuit is given in Figure A13.

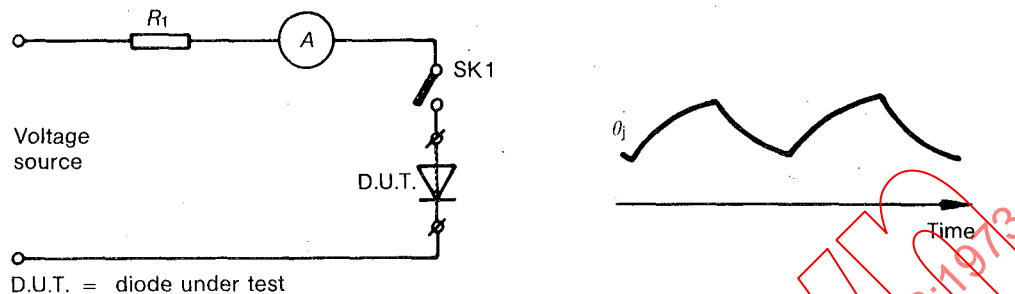


FIGURE A13

The diode shall be heated by a specified current not less than the maximum mean forward current until the maximum specified virtual junction temperature has been reached. Then the switch $SK1$ is opened and the diode is cooled to a specified low temperature, not exceeding 50°C .

The cycle duration depends on the cooling method and shall be specified. The test shall be carried out for a specified number of cycles.

All parameters that may be affected by the test shall be measured before and after the test to check that no appreciable change has occurred during the thermal cycling.

A3.11 Full load operating life test

This test is performed by passing specified 50/60 Hz half-sine-wave current through the test device, with specified 50/60 Hz half-sine-wave voltage applied on alternate half-cycles.

The test circuit and test current and voltage waveforms are shown in Figure A14.

Thyristor T_1 is triggered at the beginning of the proper half-cycle of the a.c. supply in order to initiate the test current. Thyristor T_2 is triggered just slightly after the start of the next half-cycle of the a.c. supply in order to initiate the test voltage. The trigger delay is to ensure that thyristor T_1 will be off before the test voltage is applied.

The test conditions to be specified are:

- test current magnitude;
- test voltage magnitude;
- duration of test;
- reference point temperature of test device.

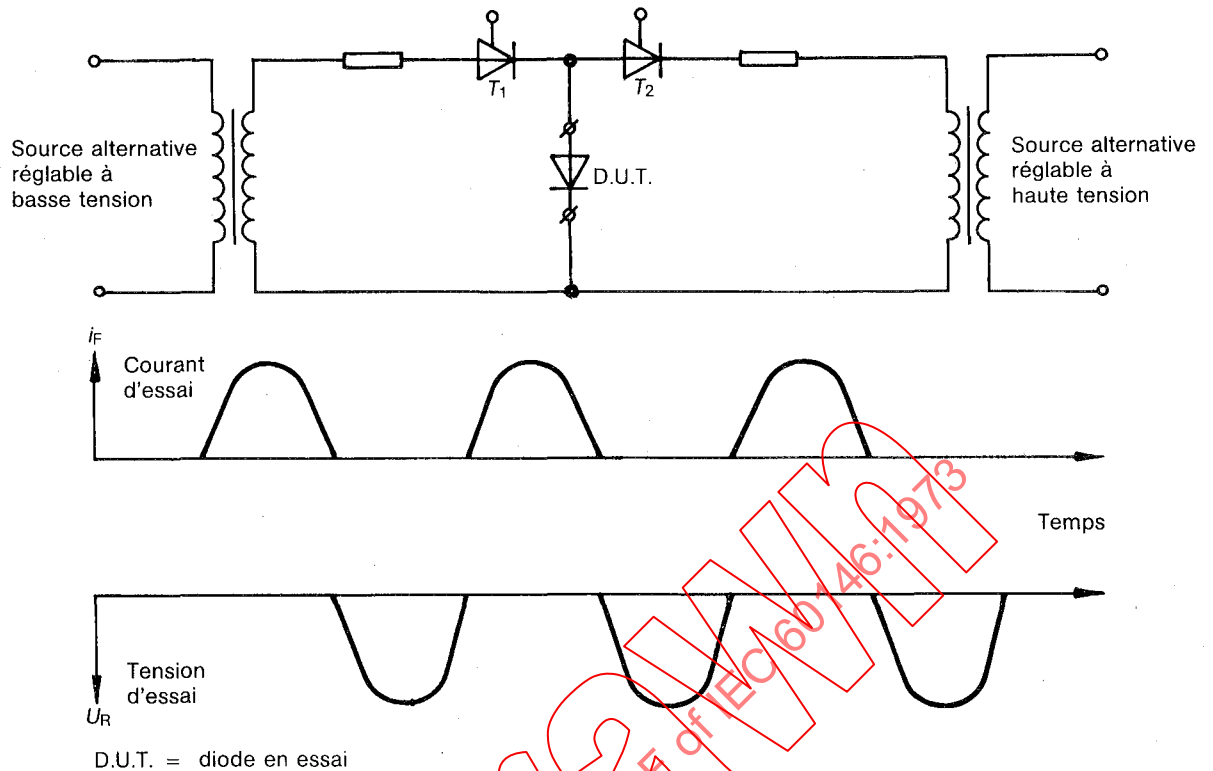


FIGURE A14

A3.12 Essais mécaniques

La nature des essais mécaniques et/ou de corrosion doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

A3.13 Essai d'isolement (pour les éléments seulement)

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 diodes ou groupements de diodes 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 (à 50 Hz ou 60 Hz).

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

$$2000 \text{ V ou } \frac{2U_{lm}}{\sqrt{2}} + 1000 \text{ V}$$

en prenant la plus élevée de ces deux valeurs. U_m est la valeur maximale de la tension de crête pouvant apparaître 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 moins de 10 secondes.

L'essai doit être effectué à la température ambiante.

Pour les éléments fortement sollicités 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'utilisateur et le constructeur lors de la passation de la commande.

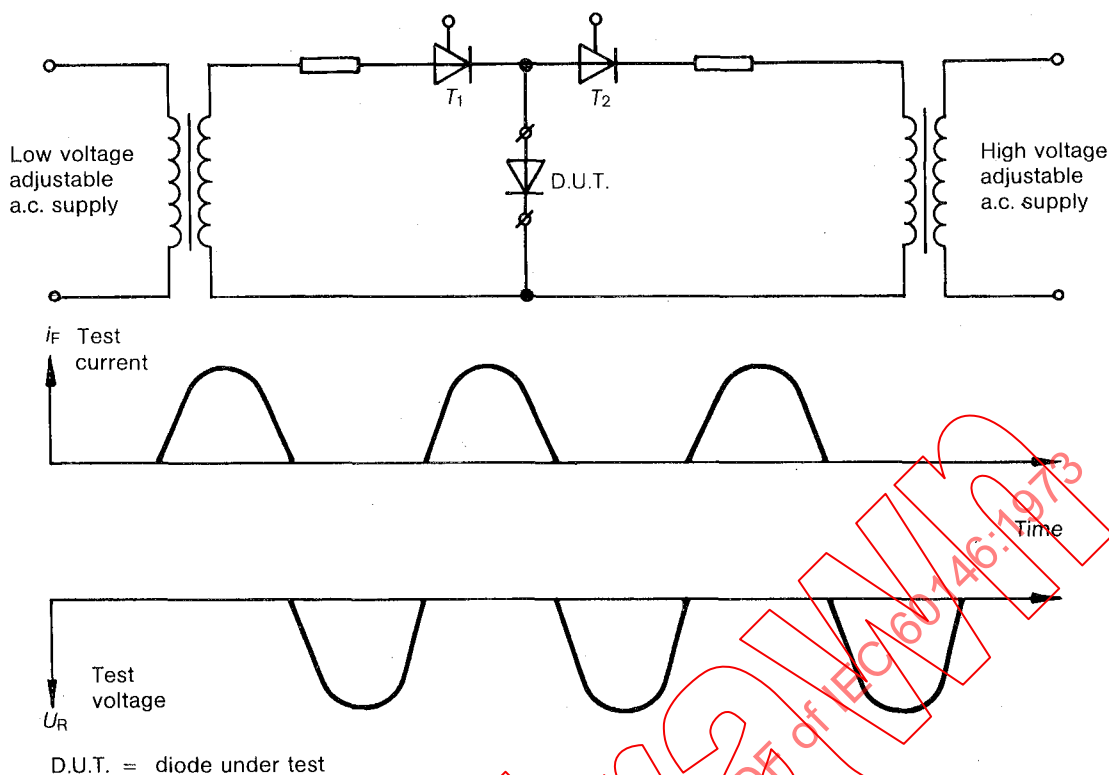


FIGURE A14

A3.12 Mechanical test

The nature of mechanical and/or corrosion tests is left to an agreement between the manufacturer and the user.

A3.13 Insulation test (for 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 diodes or series groups of diodes shall be joined together to ensure that the high voltage is not applied across the diodes.

The insulation between the short-circuited terminals and the metallic parts of the mounting device, shall satisfactorily withstand an a.c. test voltage (50 Hz or 60 Hz) for one minute.

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

$$2000 \text{ V or } \frac{2U_{lm}}{\sqrt{2}} + 1000 \text{ V}$$

whichever is the larger. U_m is the highest crest voltage to be expected 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 overvoltages are to be expected, the test voltage may be increased by agreement between user and manufacturer at the time of making the contract.

A3.14 Essai d'échauffement (pour les éléments seulement)

L'élément doit être essayé dans les conditions nominales de refroidissement (paragraphe A2.2) 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 alternatif de basse tension, ou on fait passer un courant continu à travers les diodes.

Si l'élément est prévu pour fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m, les pertes pendant l'essai doivent être augmentées de 1,0% par 100 m au-dessus de 1 000 m pour le refroidissement des éléments en convection naturelle et de 1,5% pour le refroidissement des éléments en ventilation forcée.

L'échauffement au point de mesure prescrit (paragraphe A2.3.1) doit avoir une valeur telle qu'on ne dépasse pas les températures limites spécifiées (paragraphe A2.3) pour un fonctionnement dans les conditions nominales de refroidissement.

A4. Marquage

Chacune des diodes ou chacun des éléments qui constituent l'organe remplaçable le plus petit doit porter, de façon claire et indélébile, les indications suivantes:

- A4.1 Nom ou marque d'identification du constructeur.
- A4.2 Type selon le constructeur ou le fournisseur.
- A4.3 Chaque diode doit être marquée de manière à permettre la distinction entre bornes d'anode et de cathode.
- A4.4 Chaque élément ou assemblage doit porter de clairs repérages de phase des bornes à courant alternatif ainsi qu'un marquage distinct des bornes à courant continu.

A3.14 *Temperature rise test (for stacks only)*

The stack shall be tested under specified cooling conditions (Sub-clause A2.2) 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 diodes.

When the stack is to be used at an altitude above 1 000 metres (3 300 feet), but is tested at normal altitude, the loss during the test shall be increased above the specified value by 1% for each 100 metres above 1 000 metres of the altitude of use. This applies to natural air-cooled stacks. For forced air-cooled stacks, the correction figure should be 1.5%.

The temperature rise at the prescribed measuring point (Sub-clause A2.3.1) shall have such a value that none of the limiting temperature values (Sub-clause A2.3) are exceeded when operating under rated cooling conditions.

A4. **Marking**

Each diode or diode stack, whichever constitutes the smallest replaceable item, shall be clearly and indelibly marked with the following information:

- A4.1 Manufacturer's name or identification.
- A4.2 Manufacturer's or supplier's type.
- A4.3 Each rectifier diode shall be marked to permit the distinction between anode and cathode.
- A4.4 Each diode stack shall be provided with a clear phase indication of the a.c. terminals and a distinct marking of the d.c. terminals.

ANNEXE B

THYRISTORS ET ÉLÉMENTS THYRISTORS

Cette annexe se rapporte aux thyristors et éléments fournis séparément à des fins qui doivent être déterminées par l'acheteur ou pour être utilisés dans un équipement à thyristors. Ce chapitre se rapporte également aux thyristors et éléments qui sont des éléments constitutifs d'un convertisseur fourni conformément à la présente recommandation.

Cette annexe se rapporte également, quand il y a lieu, aux éléments constitués par une combinaison de thyristors et de diodes redresseuses à semiconducteurs en vue de l'utilisation dans des convertisseurs à thyristors.

B1. Définitions

B1.1 Bornes principales

Les deux bornes au travers desquelles le courant principal circule.

B1.2 Borne d'anode

Borne vers laquelle le courant direct circule à partir du circuit extérieur.

B1.3 Borne de cathode

Borne à partir de laquelle le courant direct circule vers le circuit extérieur.

B1.4 Borne de gâchette

Borne vers ou à partir de laquelle seul un courant de commande circule.

Note. — Ce courant de commande est habituellement appelé "courant de gâchette".

B1.5 Tension principale

La tension (différence de potentiel) entre les bornes principales.

Note. — La tension principale est appelée positive quand le potentiel de l'anode est supérieur au potentiel de la cathode, et négative quand le potentiel de l'anode est inférieur au potentiel de la cathode.

B1.6 Courant principal

Le courant qui circule à travers les bornes principales.

B1.7 Caractéristique (tension-courant) principale

Fonction généralement représentée graphiquement reliant la tension principale au courant principal, et s'il y a lieu au courant de gâchette en tant que paramètre.

B1.8 Etat passant

Etat d'un thyristor correspondant à la partie faible résistance, faible tension de la caractéristique principale.

B1.9 Courant à l'état passant I_T

Courant principal lorsque le thyristor est à l'état passant.

B1.9.1 Courant moyen à l'état passant I_{TAV}

Valeur moyenne du courant à l'état passant calculée sur la période complète.

APPENDIX B

THYRISTORS AND THYRISTOR STACKS

This appendix refers to thyristors and thyristor stacks supplied separately for use to be determined by the purchaser or for use in specified thyristor equipments. This chapter also refers to thyristors and thyristor stacks which are components of thyristor convertors delivered in accordance with this recommendation.

Where appropriate, this appendix will refer also to stacks derived from a combination of thyristors and semiconductor rectifier diodes and designed for use in thyristor convertors.

B1. Definitions

B1.1 Main terminals

The two terminals through which the principal current flows.

B1.2 Anode terminal

The terminal to which on-state current flows from the external circuit.

B1.3 Cathode terminal

The terminal from which on-state current flows to the external circuit.

B1.4 Gate terminal

A terminal to or from which only control current flows.

Note. – This control current is usually called the gate current.

B1.5 Principal voltage

The voltage (potential difference) between the main terminals.

Note. – The principal voltage is called positive when the anode potential is higher than the cathode potential and called negative when the anode potential is lower than the cathode potential.

B1.6 Principal current

The current which flows through the main terminals.

B1.7 Principal (voltage-current) characteristic

A function usually represented graphically relating the principal voltage to the principal current, with the gate current, where applicable, as a parameter.

B1.8 On-state

The condition of a thyristor corresponding to the low-resistance low-voltage portion of the principal characteristic.

B1.9 On-state current I_T

The principal current when the thyristor is in the on-state.

B1.9.1 Mean on-state current I_{TAV}

The mean value of the on-state current averaged over a full cycle.

B1.9.2 Courant de pointe répétitif à l'état passant I_{TRM}

Valeur de pointe du courant à l'état passant incluant tous les courants transitoires répétitifs.

B1.9.3 Courant de surcharge prévisible à l'état passant $I_{T(OV)}$

Courant à l'état passant dont l'application permanente conduirait à un dépassement de la température virtuelle maximale de la jonction, mais qui est limité dans le temps de telle sorte que cette température ne soit pas dépassée.

B1.9.4 Courant de surcharge accidentelle I_{TSM}

Courant à l'état passant dont l'application conduirait à un dépassement de la température virtuelle maximale de la jonction, mais qui est supposé se produire rarement, le nombre total étant limité durant la durée normale d'utilisation du dispositif, et étant la conséquence de conditions anormales du circuit (par exemple, des conditions de défauts).

B1.9.5 Vitesse critique de croissance du courant à l'état passant

$$\left(\frac{dI_T}{dt}\right)_{\text{crit}}$$

Valeur maximale de la vitesse de croissance du courant à l'état passant qu'un thyristor peut supporter sans détérioration.

B1.9.6 Courant hypostatique I_H

Courant principal minimal nécessaire pour maintenir le thyristor à l'état passant.

B1.9.7 Courant d'accrochage I_{HS}

Courant de maintien au moment où cesse l'impulsion d'un courant de gâchette de courte durée.

B1.10 Tension à l'état passant (chute de tension) U_T

Tension principale lorsque le thyristor est à l'état passant.

B1.10.1 Tension de seuil à l'état passant $U_{(TO)}$

Valeur de la tension à l'intersection avec l'axe des tensions d'une droite représentant de façon approchée la caractéristique du thyristor à l'état passant.

B1.10.2 Résistance apparente à l'état passant r_T

Valeur de résistance calculée à partir de la pente de la droite utilisée pour déterminer la tension de seuil à l'état passant.

B1.11 Pertes en puissance à l'état passant P_T

Les pertes en puissance résultant de la circulation du courant à l'état passant.

Note. – Les pertes en puissance P_T à l'état passant sont égales à la valeur moyenne arithmétique du produit de la tension instantanée à l'état passant u_T par le courant instantané à l'état passant i_T , rapportée à une période de durée T . Elles sont exprimées par la formule suivante:

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T u_T i_T dt$$

B1.12 Etat bloqué

Etat d'un thyristor correspondant à la partie de la caractéristique principale entre l'origine et le point de retournement. A ce point de la caractéristique principale, la résistance différentielle est nulle et la tension principale atteint une valeur maximale.

B1.9.2 Repetitive peak on-state current I_{TRM}

The peak value of the on-state current including all repetitive transient currents.

B1.9.3 Overload on-state current $I_{T(OV)}$

An on-state current, the continuous application of which would cause the maximum virtual junction temperature to be exceeded, but which is limited in time so that this temperature is not exceeded.

B1.9.4 Surge on-state current I_{TSM}

A current, the application of which causes the maximum rated virtual junction temperature to be exceeded, but which is assumed to occur only rarely with a limited number of occurrences during the service life of the device and to be a consequence of unusual circuit conditions (e.g. fault conditions).

B1.9.5 Critical rate of rise of on-state current

$$\left(\frac{dI_T}{dt}\right)_{crit}$$

The highest value of the rate of rise of on-state current which a thyristor can withstand without deleterious effect.

B1.9.6 Holding current I_H

The minimum principal current required to maintain the thyristor in the on-state.

B1.9.7 Latching current I_{HS}

The holding current at the moment when a gate current pulse of short duration ceases.

B1.10 On-state voltage (voltage drop) U_T

The principal voltage when the thyristor is in the on-state.

B1.10.1 On-state threshold voltage $U_{(TO)}$

The value of the voltage obtained at the intersection of the voltage axis and the straight line which represents approximately the characteristic of the thyristor in the on-state.

B1.10.2 On-state slope resistance r_T

The value of the resistance calculated from the slope of the straight line used when determining the on-state threshold voltage.

B1.11 On-state power losses P_T

The power losses resulting from the flow of on-state current.

Note. – The power losses P_T in the on-state are the mean value of the product of the instantaneous on-state voltage u_T and the instantaneous on-state current i_T , averaged over a full cycle with the duration T . They are expressed by the following formula:

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T u_T i_T dt$$

B1.12 Off-state

The condition of a thyristor corresponding to the portion of the principal characteristic between the origin and the point at which the differential resistance is zero and the principal voltage reaches a maximum value.

B1.13 *Courant à l'état bloqué I_D*

Courant principal lorsque le thyristor est à l'état bloqué.

B1.14 *Tension à l'état bloqué U_D*

Tension principale lorsque le thyristor est à l'état bloqué.

B1.14.1 *Tension de crête à l'état bloqué U_{DWM}*

Valeur instantanée la plus élevée de la tension à l'état bloqué qui apparaît aux bornes d'un thyristor, excluant toutes les tensions transitoires répétitives et non répétitives.

B1.14.2 *Tension de pointe répétitive à l'état bloqué U_{DRM}*

Valeur instantanée la plus élevée de la tension à l'état bloqué qui apparaît aux bornes d'un thyristor, incluant toutes les tensions transitoires répétitives, mais excluant toutes les tensions transitoires non répétitives.

Note. – La tension répétitive dépend habituellement du circuit et accroît la dissipation de puissance du dispositif.

B1.14.3 *Tension de pointe non répétitive à l'état bloqué U_{DSM}*

Valeur instantanée la plus élevée d'une quelconque tension transitoire non répétitive à l'état bloqué qui apparaît aux bornes d'un thyristor.

Note. – Une tension transitoire non répétitive est habituellement due à une cause extérieure et on admet que son effet a complètement disparu avant que la transitoire suivante ne se manifeste.

B1.14.4 *Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué*

$$\left(\frac{dU_D}{dt}\right)_{\text{crit}}$$

Valeur minimale de la vitesse de croissance de la tension qui entraîne la commutation de l'état bloqué à l'état passant dans des conditions spécifiées.

B1.14.5 *Tension de retournement $U_{(BO)}$*

Tension principale au point de retournement (voir paragraphe B1.12).

B1.15 *Etat bloqué dans le sens inverse*

Etat d'un thyristor bloqué en inverse correspondant à la partie de la caractéristique principale pour des courants inverses inférieurs en valeur absolue au courant à la tension de claquage inverse.

B1.16 *Courant inverse à l'état bloqué I_R*

Courant inverse lorsqu'un thyristor est dans l'état de blocage inverse.

B1.16.1 *Courant inverse de recouvrement*

Composante transitoire du courant inverse d'un thyristor se produisant lors du passage de la conduction directe au blocage inverse.

B1.17 *Charge inverse de recouvrement*

La charge totale résiduelle dans le thyristor pendant la commutation d'un état direct spécifié vers un état bloqué inverse spécifié.

La charge est définie par l'intégrale $\int i dt$ correspondant au courant inverse de recouvrement.

B1.13 *Off-state current* I_D

The principal current when the thyristor is in the off-state.

B1.14 *Off-state voltage* U_D

The principal voltage when the thyristor is in the off-state.

B1.14.1 *Crest working off-state voltage* U_{DWM}

The highest instantaneous value of the off-state voltage which occurs across a thyristor, excluding all repetitive and non-repetitive transient voltages.

B1.14.2 *Repetitive peak off-state voltage* U_{DRM}

The highest instantaneous value of the off-state voltage which occurs across a thyristor, including all repetitive transient voltages, but excluding all non-repetitive transient voltages.

Note.—The repetitive voltage is usually a function of the circuit and increases the power dissipation of the device.

B1.14.3 *Non-repetitive peak off-state voltage* U_{DSM}

The highest instantaneous value of any non-repetitive transient off-state voltage which occurs across a thyristor.

Note.—A non-repetitive transient voltage is usually due to an external cause and it is assumed that its effect has completely disappeared before the next transient arrives.

B1.14.4 *Critical rate of rise of off-state voltage*

$$\left(\frac{dU_D}{dt}\right)_{\text{crit}}$$

The lowest value of the rate of rise of voltage which will cause switching from the off-state to the on-state under specified conditions.

B1.14.5 *Breakover voltage* $U_{(BO)}$

The principal voltage at the breakover point (see Sub-clause B1.12).

B1.15 *Reverse blocking state*

The condition of a reverse blocking thyristor corresponding to the portion of the principal characteristic for reverse currents of lower magnitude than the current at the reverse break-down voltage.

B1.16 *Reverse blocking current* I_R

The principal current when a thyristor is in the reverse blocking state.

B1.16.1 *Reverse recovery current*

The transient component of reverse current of a thyristor associated with a change from forward conduction to reverse blocking.

B1.17 *Reverse recovery charge*

The total residual charge in the thyristor when switching from a specified on-state condition to a specified reverse blocking condition.

The charge is defined by $\int i dt$ corresponding to the reverse recovery current.

B1.18 Tension inverse de blocage U_R

Tension principale lorsque le thyristor est à l'état bloqué inverse.

B1.18.1 Tension inverse de crête U_{RWM}

Valeur instantanée la plus élevée de la tension inverse qui apparaît aux bornes d'un thyristor, excluant toutes les tensions transitoires répétitives et non répétitives.

B1.18.2 Tension inverse de pointe répétitive U_{RRM}

Valeur instantanée la plus élevée de la tension inverse qui apparaît aux bornes d'un thyristor, incluant toutes les tensions transitoires répétitives, mais excluant toutes les tensions transitoires non répétitives.

Note. — La tension répétitive est habituellement une fonction du circuit et accroît la dissipation de puissance du dispositif.

B1.18.3 Tension inverse de pointe non répétitive U_{RSM}

Valeur instantanée la plus élevée d'une quelconque tension inverse transitoire non répétitive qui apparaît aux bornes d'un thyristor.

Note. — Une tension transitoire non répétitive est habituellement due à une cause extérieure et on admet que son effet a complètement disparu avant que la transitoire suivante ne se manifeste.

B1.19 Courant de gâchette I_G

Le courant qui circule dans la borne de gâchette.

B1.19.1 Courant direct de gâchette I_{GF}

Courant de gâchette correspondant à la tension directe de gâchette.

B1.19.2 Courant direct de pointe de gâchette I_{GFM}

Valeur instantanée la plus élevée du courant direct de gâchette incluant tous les courants transitoires.

B1.19.3 Courant inverse de gâchette I_{GR}

Courant de gâchette correspondant à la tension inverse de gâchette.

B1.19.4 Courant d'amorçage de gâchette I_{GT}

Courant de gâchette le plus faible nécessaire pour provoquer la commutation d'un thyristor de l'état bloqué à l'état passant.

B1.19.5 Courant de non-amorçage de gâchette I_{GD}

Courant de gâchette le plus élevé qui ne commute pas le thyristor de l'état bloqué à l'état passant.

B1.20 Tension de gâchette U_G

Tension de la borne de gâchette par rapport à une borne principale spécifiée.

B1.20.1 Tension directe de gâchette U_{GF}

Tension négative de la gâchette par rapport à l'anode pour un thyristor *N* et tension positive de la gâchette par rapport à la cathode pour un thyristor *P*.

B1.18 Reverse voltage U_R

The principal voltage when the thyristor is in the reverse blocking state.

B1.18.1 Crest working reverse voltage U_{RWM}

The highest instantaneous value of the reverse voltage which occurs across a thyristor, excluding all repetitive and non-repetitive transient voltages.

B1.18.2 Repetitive peak reverse voltage U_{RRM}

The highest instantaneous value of the reverse voltage which occurs across a thyristor, including all repetitive transient voltages, but excluding all non-repetitive transient voltages.

Note. – A repetitive voltage is usually a function of the circuit and increases the power dissipation of the device.

B1.18.3 Non-repetitive peak reverse voltage U_{RSM}

The highest instantaneous value of any non-repetitive transient reverse voltage which occurs across a thyristor.

Note. – A non-repetitive transient voltage is usually due to an external cause and it is assumed that its effect has completely disappeared before the next transient arrives.

B1.19 Gate current I_G

The current which flows through the gate terminal.

B1.19.1 Forward gate current I_{GF}

The gate current corresponding to the forward gate voltage.

B1.19.2 Peak forward gate current I_{GFM}

The highest instantaneous value of forward gate current including all transient currents.

B1.19.3 Reverse gate current I_{GR}

The gate current corresponding to the reverse gate voltage.

B1.19.4 Gate trigger current I_{GT}

The lowest gate current required to switch a thyristor from the off-state to the on-state.

B1.19.5 Gate non-trigger current I_{GD}

The highest gate current which will not cause the thyristor to switch from the off-state to the on-state.

B1.20 Gate voltage U_G

The voltage between a gate terminal and a specified main terminal.

B1.20.1 Forward gate voltage U_{GF}

The negative gate-to-anode voltage for *N*-gate thyristors. The positive gate-to-cathode voltage for *P*-gate thyristors.

B1.20.2 *Tension directe de pointe de gâchette* U_{GFM}

Valeur instantanée la plus élevée de la tension directe de gâchette incluant toutes les tensions transitoires.

B1.20.3 *Tension inverse de gâchette* U_{GR}

Tension positive de la gâchette par rapport à l'anode pour un thyristor N et tension négative de la gâchette par rapport à la cathode pour un thyristor P .

B1.20.4 *Tension inverse de pointe de gâchette* U_{GRM}

Valeur instantanée la plus élevée de la tension inverse de gâchette incluant toutes les tensions transitoires.

B1.20.5 *Tension d'amorçage par la gâchette* U_{GT}

Tension de gâchette nécessaire pour produire le courant de gâchette d'amorçage.

B1.20.6 *Tension de non-amorçage par la gâchette* U_{GD}

Tension de gâchette la plus élevée, qui ne commute pas le thyristor de l'état bloqué à l'état passant.

B1.21 *Temps de recouvrement après commutation du circuit* t_q

Temps écoulé entre l'instant où le courant principal est devenu nul après commutation extérieure des circuits principaux et l'instant où le thyristor est susceptible de supporter une tension principale spécifiée sans se réamorcer.

B1.22 *Temps d'amorçage par la gâchette* t_g

Intervalle de temps pendant lequel le thyristor est commuté de l'état bloqué à l'état passant, du fait d'une impulsion d'amorçage de gâchette.

Notes 1. – Cet intervalle est habituellement mesuré à partir du point spécifié au début de l'impulsion de gâchette, jusqu'à l'instant où la tension principale a diminué de sa valeur initiale à une valeur spécifiée.

2. – Le temps d'amorçage est la somme du retard à la croissance et du temps de croissance.

B1.22.1 *Retard à la croissance après impulsion de gâchette* t_d

Intervalle de temps entre un point spécifié au début de l'impulsion de gâchette et l'instant auquel la tension principale est tombée à une valeur spécifiée proche de sa valeur initiale, durant la commutation du thyristor de l'état bloqué à l'état passant, par une impulsion de gâchette.

Note. – Lorsque aucune confusion n'est susceptible de se produire, ce terme peut être abrégé en "retard à la croissance".

B1.22.2 *Temps de croissance après impulsion de gâchette* t_r

Intervalle de temps entre l'instant où la tension principale commence à décroître depuis une valeur spécifiée proche de sa valeur initiale et l'instant où elle atteint une valeur spécifiée inférieure, durant la commutation du thyristor de l'état bloqué à l'état passant, par une impulsion de gâchette.

Note. – Lorsque aucune confusion n'est susceptible de se produire, ce terme peut être abrégé en "temps de croissance".

B1.23 *Résistance thermique* R_{th}

Quotient de la différence de température entre deux points ou régions spécifiés par le flux de chaleur entre ces deux points, ou régions, dans des conditions d'équilibre thermique.

Note. – Dans la plupart des cas, le flux de chaleur peut être assimilé à la puissance dissipée.

B1.20.2 Peak forward gate voltage U_{GFM}

The highest instantaneous value of forward gate voltage including all transient voltages.

B1.20.3 Reverse gate voltage U_{GR}

The positive gate-to-anode voltage for *N*-gate thyristors. The negative gate-to-cathode voltage for *P*-gate thyristors.

B1.20.4 Peak reverse gate voltage U_{GRM}

The highest instantaneous value of reverse gate voltage including all transient voltages.

B1.20.5 Gate trigger voltage U_{GT}

The gate voltage required to produce the gate trigger current.

B1.20.6 Gate non-trigger voltage U_{GD}

The highest gate voltage which will not cause the thyristor to switch from the off-state to the on-state.

B1.21 Circuit-commutated recovery time t_q

The time interval between the instant when the principal current has decreased to zero after external switching of the main circuits, and the instant when the thyristor is capable of supporting a specified principal voltage without turning on.

B1.22 Gate controlled turn-on time t_{gt}

The time interval during which the thyristor is switching from the off-state to the on-state as a result of the application of a gate trigger pulse.

Notes 1. – The interval is usually measured from a specified point at the beginning of the gate pulse to the instant at which the principal voltage has dropped from its initial value to a specified value.

2. – The turn-on time is the sum of the delay time and the rise time.

B1.22.1 Gate controlled delay time t_d

The time interval between a specified point at the beginning of the gate pulse and the instant at which the principal voltage has dropped to a specified value, near its initial value, during the switching of a thyristor from the off-state to the on-state by a gate pulse.

Note. – Where no confusion is likely to occur, the term can be abbreviated to “delay time”.

B1.22.2 Gate controlled rise time t_r

The time interval between the instant when the principal voltage has dropped from a specified value, near its initial value, and the instant when it reaches a specified low value, during the switching of a thyristor from the off-state to the on-state by a gate pulse.

Note. – Where no confusion is likely to occur, the term can be abbreviated to “rise time”.

B1.23 Thermal resistance R_{th}

The quotient of the temperature difference between two specified points or regions and the heat flow between these two points or regions under conditions of thermal equilibrium.

Note. – For most cases, the heat flow can be assumed to be equal to the power dissipation.

B1.24 Impédance thermique transitoire $Z_{(th)t}$

C'est le quotient de:

- a) la variation de la différence de température, atteinte au bout d'un certain temps, entre la température virtuelle et la température d'un point de référence extérieur spécifié, et
- b) la modification de la fonction échelon de la puissance dissipée au début du même intervalle de temps provoquant la modification de la température.

Immédiatement avant le début de cet intervalle de temps, la distribution de la température dans le dispositif doit être constante en fonction du temps.

Note. – L'impédance thermique transitoire est donnée en fonction de la durée de l'intervalle de temps.

B1.25 Température virtuelle de la jonction θ_j

Une température hypothétique à l'intérieur du matériau semiconducteur, résultant d'une représentation simplifiée du comportement thermique et électrique du thyristor.

Notes 1. – La température virtuelle de la jonction n'est pas nécessairement la température la plus élevée dans le thyristor.

2. – En se basant sur la température virtuelle de la jonction, sur la résistance thermique et l'impédance thermique transitoire correspondant au mode de fonctionnement, la dissipation de puissance peut être calculée en utilisant une relation spécifiée.

B2. Caractéristiques nominales

Les caractéristiques nominales des thyristors et éléments thyristors utilisés dans les convertisseurs de puissance doivent, pour ce qui a trait à leur capacité de charge, être fixées par le constructeur dans les conditions édictées aux paragraphes B2.1 à B2.7.

Les contraintes correspondant aux diverses conditions nominales seront appliquées simultanément dans la mesure où elles sont compatibles entre elles.

B2.1 Mode de refroidissement spécifié

Deux classes de thyristors ou d'éléments peuvent satisfaire à la présente recommandation:

B2.1.1 Thyristors ou éléments munis d'organes de refroidissement

Thyristors ou éléments fournis avec leurs propres dispositifs de dissipation de chaleur, tels que thyristors comportant des ailettes incorporées ou des éléments munis d'ailettes.

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.).

B2.1.2 Thyristors ou éléments sans organe de refroidissement

Thyristors, tels que ceux devant être fixés ou vissés, fournis pour être utilisés avec les dispositifs d'évacuation de chaleur propres à l'acheteur (par exemple, dispositif refroidi par ailettes ou par fluide et auquel le thyristor est fixé).

Pour cette classe, l'utilisateur doit s'assurer que la température de fonctionnement spécifiée pour le thyristor n'est pas dépassée.

B2.2 Conditions spécifiées de refroidissement

Pour les thyristors et éléments mentionnés au paragraphe B2.1.1, il y a lieu de spécifier les conditions de refroidissement, à savoir:

B2.2.1 Température ambiante et altitude, dans le cas de refroidissement naturel.

B1.24 *Transient thermal impedance $Z_{(th)t}$*

Quotient of:

- a) the variation of the temperature difference, reached at the end of a time interval between the virtual junction temperature and the temperature at a specified external reference point, and
- b) the step function change of power dissipation at the beginning of the same time interval causing the change of temperature.

Immediately before the beginning of this time interval, the distribution of temperature must have been constant with time.

Note. – Transient thermal impedance is given as a function of the time interval.

B1.25 *Virtual junction temperature θ_j*

A hypothetical temperature within the semiconductor material which is based on a simplified representation of the thermal and electrical behaviour of a thyristor.

Notes 1. – The virtual junction temperature is not necessarily the highest temperature in the thyristor.

2. – Based on the virtual junction temperature and on the thermal resistance and transient thermal impedance which correspond to the mode of operation, the power dissipation can be calculated using a specified relationship.

B2. **Rated values and characteristics**

For the application of thyristors and thyristor stacks with regard to loading in power convertors, rated values are to be given by the manufacturer of thyristors or stacks in terms of Sub-clauses B2.1 to B2.7.

Simultaneous application of all rated values is inferred wherever these are consistent with each other.

B2.1 *Specified cooling method*

Two classes of thyristors or stacks may be applied to this recommendation:

B2.1.1 *Thyristors or thyristor stacks with cooling body*

Thyristors or thyristor stacks supplied with their own heat dissipating arrangements such as thyristors 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 cooling, forced air cooling, natural oil convection, etc.).

B2.1.2 *Thyristors without cooling body*

Thyristors, such as stud or base mounted, supplied for use with the user's heat-dissipating arrangements (e.g. a fin or a fluid cooled chamber to which the thyristors are attached).

For this class, the user must ensure that the specified limiting temperature values of the thyristors are not exceeded.

B2.2 *Specified cooling conditions*

For thyristors and stacks as defined in Sub-clause B2.1.1, the following conditions are to be specified:

B2.2.1 *The cooling air temperature and altitude for natural cooling.*

B2.2.2 Température de l'air de refroidissement, vitesse ou débit et altitude, dans le cas du refroidissement par ventilation forcée.

B2.2.3 Nature du fluide de refroidissement, sa température et sa vitesse ou son débit dans le cas du refroidissement par liquide.

B2.3 *Températures limites*

Pour les thyristors définis aux paragraphes B2.1.1 et B2.1.2, on devra spécifier les températures nominales ci-après:

B2.3.1 *Température maximale au point de référence*

Température maximale au point de mesure spécifié du thyristor, dans les conditions de régime établi spécifiées.

B2.3.2 *Température virtuelle maximale de la jonction*

B2.3.3 *Températures limites de stockage*

B2.4 *Caractéristiques thermiques*

B2.4.1 *Thyristors ou éléments munis d'organes de refroidissement*

Pour les thyristors ou éléments définis au paragraphe B2.1.1, on devra spécifier les caractéristiques thermiques suivantes:

Résistance thermique maximale entre la jonction du thyristor et le fluide de refroidissement (dans le cas des éléments, la valeur maximale de tous les thyristors inclus sera spécifiée).

Impédance thermique maximale transitoire entre la jonction et le fluide de refroidissement.

Note. – L'impédance thermique transitoire sera donnée de préférence par une courbe comme représentée ci-dessous (figure B1).

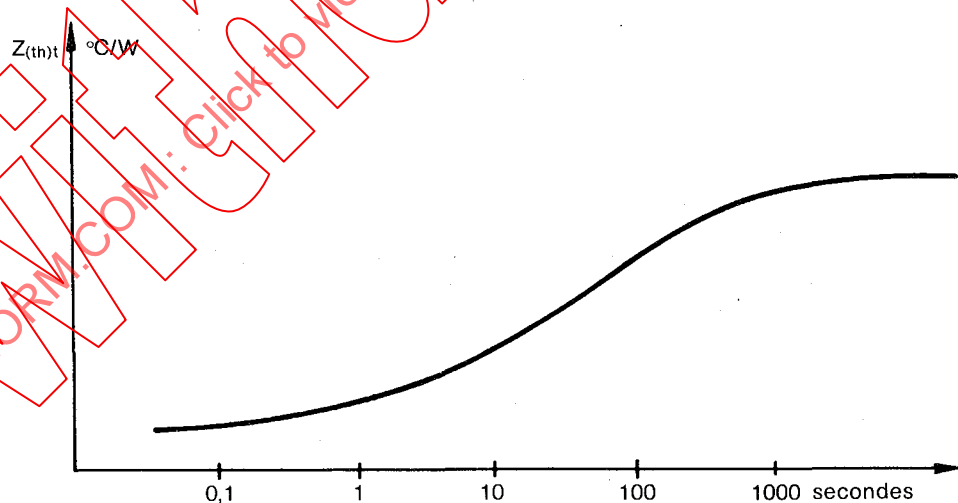


FIGURE B1

B2.4.2 *Thyristors ou éléments sans organe de refroidissement*

Pour les thyristors ou éléments définis au paragraphe B2.1.2, on devra spécifier les conditions thermiques suivantes:

Résistance thermique maximale entre la jonction et un point spécifié de la surface du thyristor, voisin de la partie filetée ou de l'embase.

B2.2.2 The cooling air temperature, velocity or quantity per second and altitude for forced air cooling.

B2.2.3 The cooling or heat transfer medium, the temperature of the cooling medium and the velocity or quantity per second for liquid cooling.

B2.3 *Limiting temperature values*

For thyristors as defined in Sub-clauses B2.1.1 and B2.1.2, the following temperature values are to be specified:

B2.3.1 *Maximum reference point temperature*

The maximum permissible temperature at a specified measuring point on the thyristor at specified steady state load conditions.

B2.3.2 *Maximum virtual junction temperature*

B2.3.3 *Limits of storage temperature*

B2.4 *Thermal characteristics*

B2.4.1 *For thyristors or thyristor stacks with cooling body*

For thyristors and thyristor stacks as defined in Sub-clause B2.1.1, the following thermal characteristics are to be specified:

Maximum thermal resistance between the junction of the thyristor and the cooling medium (in the case of stacks, the maximum value of all included thyristors shall be specified).

Maximum transient thermal impedance between the junction and the cooling medium.

Note. – Transient thermal impedance is preferably given in form of a diagram as shown in Figure B1.

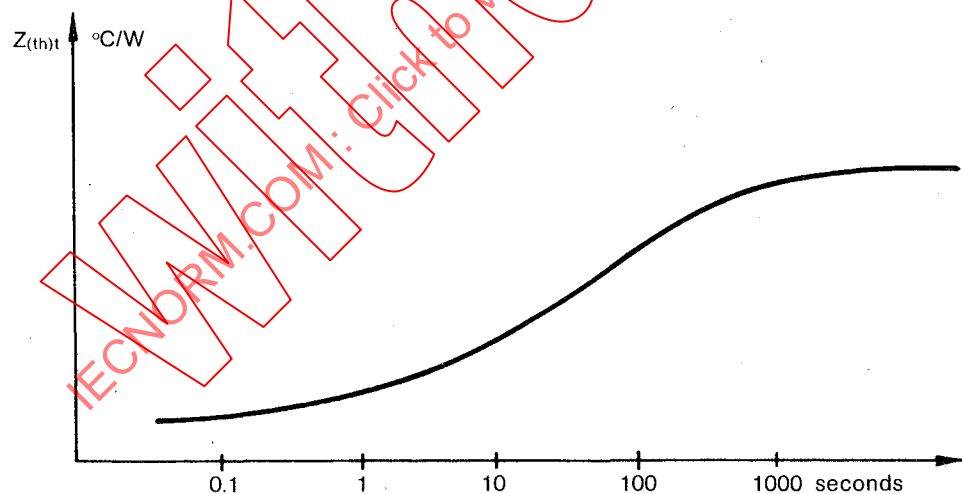


FIGURE B1

B2.4.2 *For thyristors without cooling body*

For thyristors as defined in Sub-clause B2.1.2, the following thermal characteristics are to be specified:

Maximum thermal resistance between the junction and a specified point on the thyristor surface near to the stud or base.

Résistance thermique maximale entre le même point spécifié et la surface de l'organe de réfrigération sur lequel le thyristor est monté.

Impédance thermique transitoire maximale entre la jonction virtuelle et le même point spécifié.

Note. – L'impédance thermique transitoire sera donnée de préférence par une courbe comme représentée (figure B1).

B2.5 *Caractéristiques électriques limites*

Sauf spécification contraire, les caractéristiques limites énumérées dans ce paragraphe s'entendent pour la température maximale de la jonction. Pour déterminer cette température, il y a lieu de tenir compte de toute l'énergie dissipée dans le dispositif. La fréquence maximale et/ou minimale, ainsi que d'autres précisions telles que durée admissible, fréquence de répétition, etc., applicables aux caractéristiques nominales, devront être indiquées.

B2.5.1 *Tension inverse maximale de pointe admissible répétitive*

B2.5.2 *Tension inverse maximale de pointe admissible non répétitive*

B2.5.3 *Tension maximale de pointe répétitive admissible à l'état bloqué*

La valeur nominale est donnée pour des conditions spécifiées du circuit de gâchette et du taux de croissance de la tension à l'état bloqué.

B2.5.4 *Tension maximale admissible de pointe non répétitive à l'état bloqué*

La valeur nominale est donnée pour des conditions spécifiées du circuit de gâchette et du taux de croissance de la tension à l'état bloqué.

B2.5.5 *Tension maximale admissible permanente à l'état bloqué*

Pour des conditions spécifiées du circuit de gâchette.

B2.5.6 *Courant moyen maximal à l'état passant*

La valeur du courant moyen à l'état passant s'entend dans les conditions spécifiées de refroidissement (paragraphe B2.2) dans le cas des thyristors fournis avec des dispositifs de dissipation de chaleur ou pour des valeurs spécifiées de température limite (paragraphe B2.3). C'est le courant moyen à l'état passant qu'un thyristor peut conduire continuellement en montage monophasé, 180° de conduction et sur charge résistive.

En outre, on devra donner séparément soit les facteurs de conversion, soit les valeurs du courant moyen maximal correspondant à des angles de conduction de 60° et de 120° avec débit sur charges résistive et inductive.

Dans le cas d'un élément thyristor (paragraphe 121.4) constituant un montage complet de thyristor, le courant moyen maximal s'entend comme étant le courant redressé débité sur charge purement résistive et, sauf spécification contraire, en admettant qu'il n'est fait aucune réduction de la tension redressée par réglage de phase.

B2.5.7 *Courant de surcharge prévisible à l'état passant*

En donnant des informations sur le courant de surcharge prévisible à l'état passant, on devra donner la température virtuelle maximale nominale et l'impédance thermique transitoire maximale. En outre, des valeurs nominales du courant de surcharge peuvent être données à l'aide d'une courbe.

Maximum thermal resistance between the same specified point and the surface of a cooling body to which the thyristor is attached in a specified way.

Maximum transient thermal impedance between the junction and the same specified point.

Note. – Transient thermal impedance is preferably given in form of a diagram as shown in Figure B1.

B2.5 *Limiting electrical values*

All limiting values listed in this sub-clause shall be referred to the rated maximum virtual junction temperature if not otherwise specifically mentioned. All energy dissipated in the device must be taken into account in the assessment of this temperature. The maximum and/or minimum frequency as well as all other qualifications, e.g. permissible duration, repetition frequency, etc., applicable to given values shall be stated.

B2.5.1 *Maximum permissible repetitive peak reverse voltage*

B2.5.2 *Maximum permissible non-repetitive peak reverse voltage*

B2.5.3 *Maximum permissible repetitive peak off-state voltage*

The value shall be given under specified conditions of gate circuit and rate of rise of off-state voltage.

B2.5.4 *Maximum permissible non-repetitive peak off-state voltage*

The value shall be given under specified conditions of gate circuit and rate of rise of off-state voltage.

B2.5.5 *Maximum permissible continuous off-state voltage*

For specified conditions of gate circuit.

B2.5.6 *Maximum mean on-state current*

The value of the mean on-state current shall be assigned for specified cooling conditions (Sub-clause B2.2) in the case of thyristors supplied with cooling bodies or for specified limiting temperature values (Sub-clause B2.3).

It is the mean on-state current which a thyristor is capable to carry continuously in a single phase connection with 180° conduction angle and resistive load.

In addition, conversion factors or maximum mean on-state current values for equal conditions, but applicable to 60° and 120° conduction angles and continuous conduction at resistive and inductive loads shall be given separately.

For a thyristor stack (Sub-clause 121.4) forming a complete thyristor connection, the maximum mean current shall be given in terms of the total direct current to a resistive load assuming no reduction of the direct voltage by phase control unless otherwise specified.

B2.5.7 *Overload on-state current*

If information regarding permissible overload current is given, this must be done by stating the rated maximum virtual junction temperature and the maximum transient thermal impedance. In addition, rated values on overload current may be given by means of diagrams.

B2.5.8 *Courant maximal de surcharge accidentelle à l'état passant*

La valeur de courant de surcharge accidentelle sera donnée pour deux échelles de temps et sous la forme suivante:

- a) Pour des temps inférieurs à une demi-onde (à 50 Hz ou 60 Hz) et jusqu'à 1 ms environ, les valeurs seront données en fonction de $\int i^2 dt$ maximale nominale. Elles peuvent être données par une courbe ou par des valeurs singulières. On n'admet aucune application immédiate de tension inverse.
- b) Valeurs maximales du courant de surcharge accidentelle en fonction du temps jusqu'au moins 10 cycles. La fréquence, le temps de conduction, la forme d'onde du courant et la tenue en tension inverse et en tension directe de blocage seront spécifiés après et entre les intervalles de surcharge, y compris le taux de croissance de la tension. On devra admettre une perte temporaire du contrôle de gâchette directement après la surcharge.

Dans tous les cas, on partira de la température maximale virtuelle de la jonction, sauf spécification contraire.

B2.5.9 *Taux de croissance critique du courant à l'état passant*

Pour une forme d'onde et une amplitude spécifiée du courant à l'état passant, une fréquence de répétition de commutation, une tension à l'état bloqué précédant la commutation, et des conditions d'amorçage de gâchette (amplitude et forme d'onde de la tension de source et impédance de source) et excluant la décharge de tout circuit RC monté entre bornes principales.

Note. — Si l'on donne une valeur limite supplémentaire dans le cas d'un réseau RC, on devra donner l'amplitude et la durée admissibles de la surcharge due à ce réseau ou bien les paramètres du réseau.

B2.5.10 *Tension directe maximale de pointe de gâchette* (voir paragraphe B2.7)

B2.5.11 *Tension inverse maximale de pointe de gâchette* (voir paragraphe B2.7)

B2.5.12 *Courant direct maximal de pointe de gâchette* (voir paragraphe B2.7)

B2.5.13 *Pertes moyennes maximales de la gâchette* (voir paragraphe B2.7)

B2.5.14 *Pertes maximales en valeur de crête de la gâchette* (voir paragraphe B2.7)

B2.6 *Caractéristiques électriques*

Pour toutes les caractéristiques où l'on doit donner une valeur maximale, ce sera la valeur la plus élevée de tous les thyristors d'un type spécifié.

B2.6.1 *Caractéristique à l'état passant*

Tension instantanée à l'état passant en fonction du courant instantané à l'état passant à 25 °C et à la température virtuelle nominale maximale de la jonction.

B2.6.2 *Courant inverse maximal*

Pour la tension inverse maximale répétitive et pour toute la zone de travail de la température virtuelle de la jonction.

B2.6.3 *Charge de recouvrement maximal*

Valeur maximale de la charge pour une amplitude et un taux de décroissance du courant à l'état passant précédant le recouvrement, pour une tension inverse appliquée et pour une température virtuelle de jonction spécifiée.

B2.5.8 *Maximum surge on-state current*

Rated values for surge on-state current shall be given for two time regions:

- a) For times smaller than one half-cycle (at 50 Hz or 60 Hz) down to approximately 1 ms, the values shall be given in terms of maximum rated $\int i^2 dt$. They may be given by means of a curve or by single values. No immediate subsequent application of reverse blocking or off-state voltage is assumed.
- b) Maximum values of surge on-state current versus time up to at least 10 cycles. The frequency, the conducting period length, the current waveshape, the reverse blocking voltage and off-state voltage capability including the rate of rise of voltage for the intervals after and between the surges, shall be specified. Temporarily loss of gate control right after the surge must be assumed to occur.

In either case, a previous application of maximum virtual junction temperature shall be assumed if not otherwise specifically mentioned.

B2.5.9 *Critical rate of rise of on-state current*

For specified waveform and peak value of on-state current, switching repetition frequency, off-state voltage prior to switching and gate trigger conditions (value and waveshape of source voltage and source impedance) and excluding discharge of any RC circuits between main terminals.

Note. — If an additional rating is given for the case where an RC network is present, the permissible amplitude and duration of the surges from this network or the parameters of this network must be stated.

B2.5.10 *Maximum peak forward gate voltage* (see Sub-clause B2.7)

B2.5.11 *Maximum peak reverse gate voltage* (see Sub-clause B2.7)

B2.5.12 *Maximum peak forward gate current* (see Sub-clause B2.7)

B2.5.13 *Maximum full cycle average gate power loss* (see Sub-clause B2.7)

B2.5.14 *Maximum peak gate power loss* (see Sub-clause B2.7)

B2.6 *Electrical characteristics*

For all characteristics where a maximum value is to be given, this is the biggest value for any individual of a specified thyristor type.

B2.6.1 *On-state characteristic*

The range of on-state voltage as a function of instantaneous on-state current at 25°C and rated maximum virtual junction temperature.

B2.6.2 *Maximum reverse current*

For rated repetitive peak reverse voltage and for the whole range of working virtual junction temperature.

B2.6.3 *Maximum reverse recovery charge*

Maximum value at specified values of amplitude and decay rate of previous on-state current, reverse voltage and virtual junction temperature.

B2.6.4 Courant maximum à l'état bloqué

Pour la tension nominale répétitive à l'état bloqué et pour toute la zone de température virtuelle de la jonction en fonctionnement.

B2.6.5 Courant hypostatique maximal

A 25 °C et à la température virtuelle maximale de la jonction.

B2.6.6 Courant d'accrochage maximal

A 25 °C et à la température virtuelle maximale de la jonction avec une forme d'onde spécifiée de l'impulsion du courant de gâchette.

B2.6.7 Limites du temps d'amorçage par la gâchette

Le taux de croissance du courant à l'état passant et la forme d'onde de l'impulsion du courant de gâchette doivent être spécifiés.

B2.6.8 Temps maximal de recouvrement par commutation de circuit

Il y a lieu de spécifier toutes les conditions dans lesquelles les valeurs données sont applicables, y compris: l'amplitude et le temps de décroissance du courant à l'état passant précédent, la tension inverse à l'état bloqué appliquée, le taux de croissance, l'amplitude d'une tension à l'état bloqué appliquée par la suite, la température virtuelle de la jonction.

Note. — La forme d'onde de la tension bloquée en inverse devrait être de préférence triangulaire avec une amplitude d'au moins $\frac{2}{3}$ de la tension inverse de crête répétitive nominale, ou rectangulaire avec une amplitude de 100 V.

B2.6.9 Tension maximale d'amorçage par la gâchette (voir paragraphe B2.7)

A 25 °C et pour une faible valeur spécifiée de la tension à l'état bloqué.
L'influence de la température sera spécifiée.

Note. — La valeur à donner sera la tension de gâchette la plus élevée nécessaire pour amorcer chaque thyristor d'un type spécifié.

B2.6.10 Courant maximal d'amorçage par la gâchette (voir paragraphe B2.7)

A 25 °C et pour une faible valeur spécifiée de la tension à l'état bloqué.
L'influence de la température sera spécifiée.

Note. — La valeur à donner sera le courant de gâchette le plus élevé nécessaire pour amorcer chaque thyristor d'un type spécifié.

B2.6.11 Tension maximale de non-amorçage par la gâchette (voir paragraphe B2.7)

A la température virtuelle maximale de la jonction et à la tension maximale nominale de crête répétitive à l'état bloqué.

Note. — La valeur à donner sera la valeur la plus élevée qui ne produira l'amorçage d'aucun thyristor d'un type spécifié.

B2.6.12 Courant maximal de non-amorçage par la gâchette (voir paragraphe B2.7)

A la température virtuelle maximale de la jonction et à la tension maximale nominale de crête répétitive à l'état bloqué.

Note. — La valeur à donner sera la valeur la plus élevée qui ne produira l'amorçage d'aucun thyristor d'un type spécifié.

B2.6.4 Maximum off-state current

For rated repetitive peak off-state voltage and for the whole range of working virtual junction temperature.

B2.6.5 Maximum holding current

For 25 °C and maximum virtual junction temperature.

B2.6.6 Maximum latching current

For 25 °C and maximum virtual junction temperature and at specified shape of the gate current pulse.

B2.6.7 Limits of gate controlled turn-on time

For specified rate of rise of on-state current and wave shape of gate current pulse.

B2.6.8 Maximum circuit-commutated recovery time

All conditions under which the given values apply including amplitude and decay rate of previous on-state current, applied reverse blocking voltage, rate of rise and amplitude of a subsequent applied off-state voltage and virtual junction temperature shall be specified.

Note. — The waveshape of the reverse blocking voltage should preferably be triangular with an amplitude of at least $\frac{2}{3}$ of the rated repetitive peak reverse voltage, or rectangular with an amplitude of 100 V.

B2.6.9 Maximum gate trigger voltage (see Sub-clause B2.7)

At 25 °C and for a specified low value of off-state voltage.
The temperature dependence shall be specified

Note. — The value to be given is the biggest required gate voltage to turn on any individual of a specified thyristor type.

B2.6.10 Maximum gate trigger current (see Sub-clause B2.7)

At 25 °C and for a specified low value of off-state voltage.
The temperature dependence shall be specified.

Note. — The value to be given is the biggest required gate current to turn on any individual of a specified thyristor type.

B2.6.11 Maximum gate non-trigger voltage (see Sub-clause B2.7)

At maximum virtual junction temperature and rated maximum repetitive peak off-state voltage.

Note. — The value to be given is the biggest value that will not cause turn-on for any individual of a specified thyristor type.

B2.6.12 Maximum gate non-trigger current (see Sub-clause B2.7)

At maximum virtual junction temperature and rated maximum repetitive peak off-state voltage.

Note. — The value to be given is the biggest value that will not cause turn-on for any individual of a specified thyristor type.

B2.6.13 Taux de croissance critique de la tension à l'état bloqué

La valeur sera donnée pour des conditions spécifiées de la température virtuelle de la jonction, et du circuit de gâchette, et pour une croissance linéaire de tension à l'état bloqué depuis zéro jusqu'aux $\frac{2}{3}$ de la tension de crête répétitive maximale nominale à l'état bloqué (paragraphe B2.5.3) et à une fréquence de répétition de 50 Hz ou 60 Hz.

On devra admettre que des valeurs plus faibles du taux de croissance critique de la tension à l'état bloqué peuvent exister dans d'autres conditions, et pour ces cas le constructeur sera consulté.

B2.6.14 Courant inverse maximal de gâchette

Pour la tension inverse maximale de gâchette et à la température virtuelle maximale de jonction.

B2.7 Représentation des valeurs nominales et des caractéristiques de gâchette

Les valeurs limites et les caractéristiques relatives aux courants et aux tensions de gâchette sont données de préférence par un diagramme tel que celui qui figure ci-après.

La zone correspondant aux possibilités d'amorçage peut avoir une limite supérieure donnée par deux droites représentant le courant maximal d'amorçage par la gâchette et la tension maximale d'amorçage par la gâchette, ou par une simple droite représentant une caractéristique appropriée du générateur d'impulsions d'amorçage.

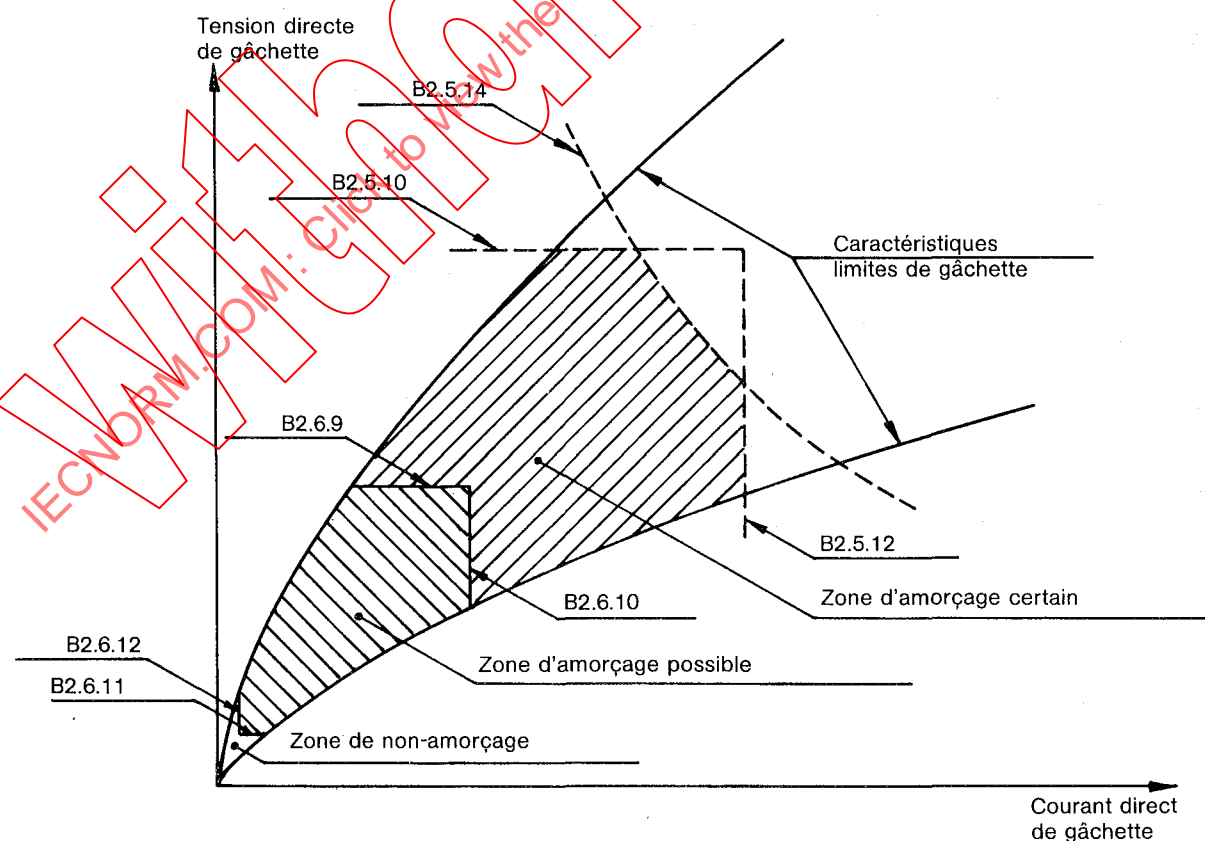


FIGURE B2