

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1136-1**

Première édition
First edition
1992-04

**Convertisseurs de puissance à semiconducteurs –
Entraînements électriques à vitesse variable –
Prescriptions générales**

Partie 1:

Spécifications de dimensionnement,
en particulier pour les entraînements à moteurs
à courant continu

**Semiconductor power convertors –
Adjustable speed electric drive systems –
General requirements**

Part 1:

Rating specifications, particularly
for d.c. motor drives



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1136-1: 1992

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1136-1**

Première édition
First edition
1992-04

**Convertisseurs de puissance à semiconducteurs –
Entraînements électriques à vitesse variable –
Prescriptions générales**

Partie 1:

Spécifications de dimensionnement,
en particulier pour les entraînements à moteurs
à courant continu

**Semiconductor power convertors –
Adjustable speed electric drive systems –
General requirements**

Part 1:

Rating specifications, particularly
for d.c. motor drives

© CEI 1992 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 pro-
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
 Articles	
1 Généralités	6
1.1 Domaine d'application et objet	6
1.2 Références normatives	6
2 Définitions	6
3 Valeurs assignées	18
3.1 Généralités	18
3.2 Tension continue assignée	20
3.3 Valeurs assignées de température	22
3.4 Système d'établissement des valeurs assignées de courant en fonction du temps pour les blocs et les groupes à semiconducteurs	24
3.5 Courants assignés pour les groupes et les sections	26
3.6 Capacité de surcharge et de courant de pointe	36
3.7 Puissance continue assignée (équipement convertisseur)	38
3.8 Conditions de service	38
4 Classes de service pour régime de charge non répétitive	44
5 Essais pour des blocs thyristors	44
 Annexes	
A Méthode de calcul pour les courbes de cycle de charge répétitive équivalent, montrées à la figure 10	46
B Base de la méthode du cycle de charge répétitive équivalent	54

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 General	7
1.1 Scope and object	7
1.2 Normative references	7
2 Definitions	7
3 Rated values	19
3.1 General	19
3.2 Rated direct voltage	21
3.3 Rated temperature values	23
3.4 System of establishing rated current-time values for semiconductor assemblies and equipments	25
3.5 Rated currents for equipments and sections	27
3.6 Overload and surge current capability	37
3.7 D.C. power rating (converter equipment)	39
3.8 Service conditions	39
4 Duty classes for non-repetitive load duty	45
5 Tests for thyristor assemblies	45
Annexes	
A Calculation method for equivalent repetitive load duty curves shown in figure 10	47
B Basis for the equivalent repetitive load duty method	53

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS DE PUISSANCE À SEMICONDUCTEURS – ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES À VITESSE VARIABLE – PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

Partie 1: Spécifications de dimensionnement, en particulier pour les entraînements à moteurs à courant continu

AVANT-PROPOS

- 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.

La présente Norme internationale a été établie par le Sous-Comité 22G: Convertisseurs à semiconducteurs pour les systèmes d'entraînement électriques à vitesse variable, du Comité d'Etudes n° 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
22G(BC)3	22G(BC)5	22G(BC)6	22G(BC)7

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR POWER CONVERTORS –
ADJUSTABLE SPEED ELECTRIC DRIVE SYSTEMS –
GENERAL REQUIREMENTS****Part 1: Rating specifications, particularly
for d.c. motor drives**

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 recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by Sub-Committee 22G: Semiconductor power convertors for adjustable speed electric drive systems, of IEC Technical Committee No. 22: Power electronics.

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
22G(CO)3	22G(CO)5	22G(CO)6	22G(CO)7

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

Annexes A and B are for information only.

CONVERTISSEURS DE PUISSANCE À SEMICONDUCTEURS – ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES À VITESSE VARIABLE – PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

Partie 1: Spécifications de dimensionnement, en particulier pour les entraînements à moteurs à courant continu

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

La présente Norme internationale donne un choix de méthodes pour spécifier les valeurs assignées des convertisseurs de puissance à semiconducteurs pour systèmes d'entraînements électriques à vitesse variable, particulièrement pour des moteurs à courant continu.

Elle a été établie en vue de l'application aux convertisseurs dont la tension de commutation est fournie par le réseau ou par une machine synchrone; mais elle n'est pas limitée à ce domaine d'application. Elle n'est pas conçue pour s'appliquer aux entraînements à vitesse variable destinés à la traction électrique.

Cette norme est une extension et un complément à la CEI 146. Les informations générales sur les convertisseurs pour entraînements à vitesse variable à moteurs à courant continu figurent dans la CEI 146.

Le terme semiconducteur utilisé dans cette norme désigne essentiellement un thyristor à capacité de blocage inverse symétrique. Lorsqu'elle est applicable, cette norme s'applique aussi aux convertisseurs comportant d'autres types d'éléments à semiconducteurs (par exemple à thyristors bidirectionnels).

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 146, *Convertisseurs à semiconducteurs*.

CEI 721, *Classification des conditions d'environnement*.

2 Définitions

Pour les besoins de la présente norme, les définitions appropriées de la CEI 146 sont appliquées. Les définitions suivantes sont complémentaires.

2.1 groupe convertisseur à semiconducteurs (ensemble convertisseur à thyristors ou convertisseur à thyristors): Ensemble fonctionnel pour la conversion de puissance, comprenant un ou plusieurs blocs semiconducteurs avec le transformateur de convertisseur, les appareils de connexion essentiels et les autres équipements auxiliaires éventuels. Il peut comprendre les générateurs d'impulsions.

SEMICONDUCTOR POWER CONVERTORS – ADJUSTABLE SPEED ELECTRIC DRIVE SYSTEMS – GENERAL REQUIREMENTS

Part 1: Rating specifications, particularly for d.c. motor drives

1 General

1.1 Scope and object

This International Standard provides alternative methods for specifying ratings for semiconductor power convertors for adjustable speed electric drive systems, particularly for d.c. motor drives.

It has been established with respect to, but is not restricted to, convertors of line- or machine-commutated type. It is not intended to cover adjustable speed drives for traction purposes.

This standard is an extension of, and an addition to, IEC 146. General information on convertors for adjustable speed d.c. motor drives is contained in IEC 146.

The term semiconductor, as used in this standard, principally means reverse blocking triode thyristor. When applicable, this standard also applies to convertors with other types of semiconductor devices (e.g. bi-directional thyristors).

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 146, *Semiconductor convertors*.

IEC 721, *Classification of environmental conditions*.

2 Definitions

For the purpose of this standard the relevant definitions given in IEC 146 apply. The following are additional definitions.

2.1 semiconductor converter equipment (thyristor converter unit or thyristor converter): Functional unit for power conversion comprising one or more semiconductor assemblies together with converter transformers, essential switching devices and other auxiliary equipment, if any. It may include the gating equipment.

2.2 Classification des convertisseurs à semiconducteurs

Les appellations suivantes ont pour objet de décrire les caractéristiques fonctionnelles des convertisseurs, mais pas nécessairement les circuits ou composants employés.

NOTE - Les figures ne se réfèrent qu'aux convertisseurs. Le sens de rotation des moteurs peut être modifié par croisement de champ ou d'induit.

2.3 convertisseur réversible: Convertisseur dans lequel le sens de circulation de la puissance est réversible.

2.4 convertisseur non réversible: Convertisseur dans lequel le sens de circulation de la puissance n'est pas réversible.

2.5 semi-convertisseur (convertisseur à un quadrant): Convertisseur non réversible, connecté à un circuit à courant continu qui a une seule polarité de tension et un seul sens de courant possible (voir figure 1).

2.6 convertisseur simple: Convertisseur réversible, connecté à un circuit à courant continu tel que le courant continu fourni par le convertisseur ne puisse circuler que dans un seul sens (voir figure 2).

2.7 convertisseur double: Convertisseur réversible, connecté à un circuit à courant continu tel que l'énergie puisse être reçue ou renvoyée au réseau alternatif et que le courant continu fourni par le convertisseur puisse circuler dans chaque sens (voir figure 3).

Un convertisseur double est habituellement composé de deux sections, une pour chaque sens de courant.

NOTE - Les sections de convertisseur peuvent être alimentées par des enroulements communs, par des enroulements séparés d'un transformateur commun, ou par des transformateurs séparés.

2.8 section d'un convertisseur à semiconducteurs: Parties d'un ensemble convertisseur à semiconducteurs qui regroupe les semiconducteurs de puissance et leurs auxiliaires (y compris les fusibles individuels, les transformateurs ou enroulements spécifiques et les inductances de circulation de courant spécifiques, s'il y en a) dans lequel le courant principal, vu des bornes courant continu du convertisseur, circule toujours dans le même sens.

Une section de convertisseur à semiconducteurs est capable de travailler comme une unité indépendante, mais les composants, tels que fusibles, inductances, réseaux d'amortissement et/ou radiateurs, peuvent être communs aux deux sections.

2.8.1 section directe (d'un bloc convertisseur double): Partie d'un convertisseur à semiconducteurs qui fonctionne dans les quadrants 1 et 4 du diagramme tension-courant (voir figure 2).

2.8.2 section inverse (d'un bloc convertisseur double): Partie d'un convertisseur à semiconducteurs qui fonctionne dans les quadrants 2 et 3 du diagramme tension-courant (voir figure 3).

2.2 *Classification of semiconductor convertors*

The following designations are intended to describe the functional characteristics of convertors, but not necessarily the circuits or components used.

NOTE - The figures refer only to the convertors. The rotational direction of motors may be changed by field or armature reversal.

2.3 reversible convertor: Convertor in which the flow of d.c. power is reversible.

2.4 non-reversible convertor: Convertor in which the flow of d.c. power is not reversible.

2.5 semi-convertor (one quadrant convertor): Non-reversible convertor for connection to a d.c. circuit in which there is only one possible voltage polarity and current direction (see figure 1).

2.6 single convertor: Reversible convertor connected to a d.c. circuit such that the direct current supplied by the convertor can only flow in one direction (see figure 2).

2.7 double convertor: Reversible convertor connected to a d.c. circuit such that energy can be accepted from or returned to the a.c. supply system and the direct current supplied by the convertor can flow in either direction (see figure 3).

A double convertor usually consists of two sections, one for each direction of current flow.

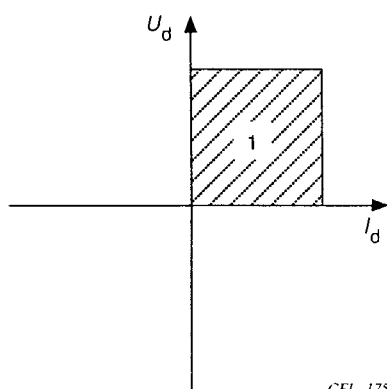
NOTE - The convertor sections may be supplied from common windings, from separate windings on a common transformer, or from separate transformers.

2.8 semiconductor convertor section: Those parts of a semiconductor convertor unit, containing the power semiconductors together with their auxiliaries (including individual fuses, individual transformers or windings and individual circulating current reactors if any), in which the main direct current when viewed from the convertor unit d.c. terminals always flows in the same direction.

A semiconductor convertor section is capable of operating as an independent unit but components such as fuses, reactors, snubbers and/or heat sinks may be common to the two sections.

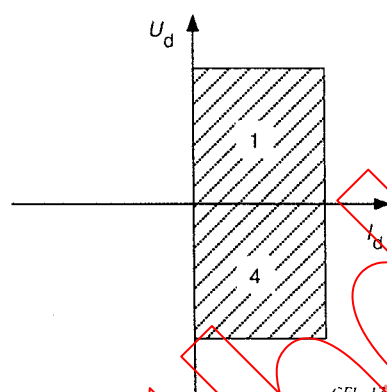
2.8.1 forward section (of a double convertor unit): That portion of a semiconductor convertor which operates in voltage-current quadrants 1 and 4 (see figure 2).

2.8.2 reverse section (of a double convertor unit): That portion of a semiconductor convertor which operates in voltage-current quadrants 2 and 3 (see figure 3).



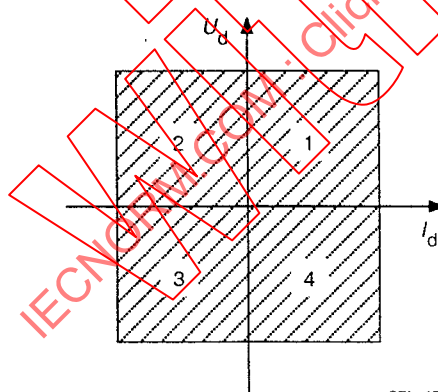
CEI 175/92

Figure 1 – Semiconvertisseur dans lequel le courant continu peut circuler dans un seul sens et qui n'est pas capable de renvoyer l'énergie de la charge vers le réseau à courant alternatif. Ce type de convertisseur ne fonctionne que dans le quadrant 1.



CEI 176/92

Figure 2 – Convertisseur simple dans lequel le courant continu ne peut circuler que dans un seul sens et qui est capable de renvoyer l'énergie de la charge vers le réseau à courant alternatif. Ce type de convertisseur ne fonctionne que dans les quadrants 1 et 4.



CEI 177/92

Figure 3 – Convertisseur double dans lequel le courant continu peut circuler dans chaque sens et qui est capable de renvoyer l'énergie de la charge vers le réseau à courant alternatif. Ce type de convertisseur fonctionne dans les quadrants 1, 2, 3 et 4.

NOTE - Le quadrant 1 correspond à un couple moteur dans le sens de rotation direct convenu du moteur.

2.9 transformateur de convertisseur: Ensemble transformateur principal d'un groupe convertisseur à semiconducteurs, incluant un ou plusieurs transformateurs ou enroulements de transformateur, utilisé pour fournir à la fois les tensions alternatives et la configuration du circuit convertisseur désirées avec tous ses équipements auxiliaires de transformation.

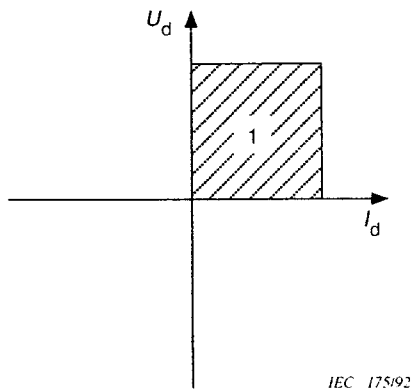


Figure 1 – Semi-converter in which the direct current can flow in one direction only and which is not capable of returning energy from the load to the alternating current supply.

This form of converter operates in quadrant 1 only.

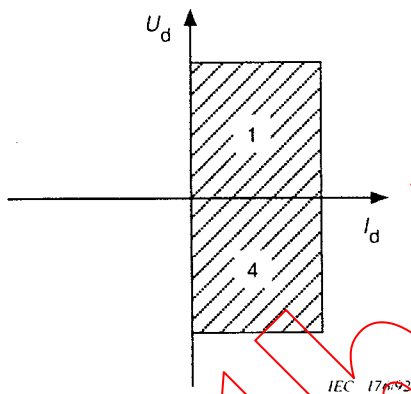


Figure 2 – Single converter in which the direct current can flow in one direction only and which is capable of returning energy from the load to the alternating current supply.

This form of converter operates in quadrants 1 and 4 only.

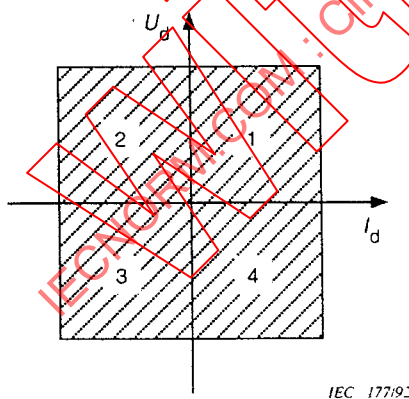


Figure 3 – Double converter in which the direct current can flow in either direction and which is capable of returning energy from the load to the alternating current supply.

This form of converter operates in quadrants 1, 2, 3 and 4.

NOTE - Quadrant 1 implies motoring torque in the agreed forward direction of motor rotation.

2.9 converter transformer: Main transformer equipment of a semiconductor converter including one or more transformers or transformer windings, used to provide the desired a.c. voltages and converter circuit configuration together with all the transformer auxiliary equipment.

2.10 transformateur commun de convertisseurs: Transformateur commun alimentant deux ou plusieurs blocs convertisseurs individuels qui peuvent être individuellement ou simultanément alimentés à travers des enroulements communs ou séparés.

2.11 température d'équilibre: Température en régime établi atteinte par un composant d'un convertisseur sous des conditions spécifiées de charge et de refroidissement.

NOTE - Les températures en régime établi sont en général différentes pour différents composants. Les durées nécessaires pour atteindre le régime établi sont aussi différentes et proportionnelles aux constantes de temps thermiques.

2.12 courant continu assigné (I_{dN}): Valeur moyenne du courant continu spécifiée par le constructeur pour des conditions spécifiées de charge et de service. Elle peut être considérée comme la valeur de base à laquelle les autres valeurs de courant continu sont comparées.

NOTE - Le courant continu assigné en régime continu (I_{dNM}), tel qu'il est défini dans la CEI 146, n'est pas toujours applicable aux convertisseurs pour entraînements à vitesse variable.

2.13 tension continue assignée: Valeur spécifiée au courant continu assigné de la tension continue aux bornes courant continu du bloc ou du groupe. Elle est la valeur moyenne de la tension continue.

2.14 tension alternative assignée: Valeur efficace assignée de la tension d'alimentation alternative aux bornes d'alimentation du convertisseur, en amont du transformateur, s'il en est fourni un. Elle peut être considérée comme la valeur de base à laquelle les autres valeurs de la tension alternative sont comparées.

2.15 diagramme de charge courant-temps: Enregistrement du courant de charge par rapport au temps.

2.16 régime de charge constante: Régime pour lequel un groupe convertisseur conduit un courant continu de valeur constante durant un intervalle de temps suffisamment long pour que les composants du convertisseur atteignent les températures d'équilibre correspondant à la valeur donnée du courant. La figure 4 illustre ce type de charge.

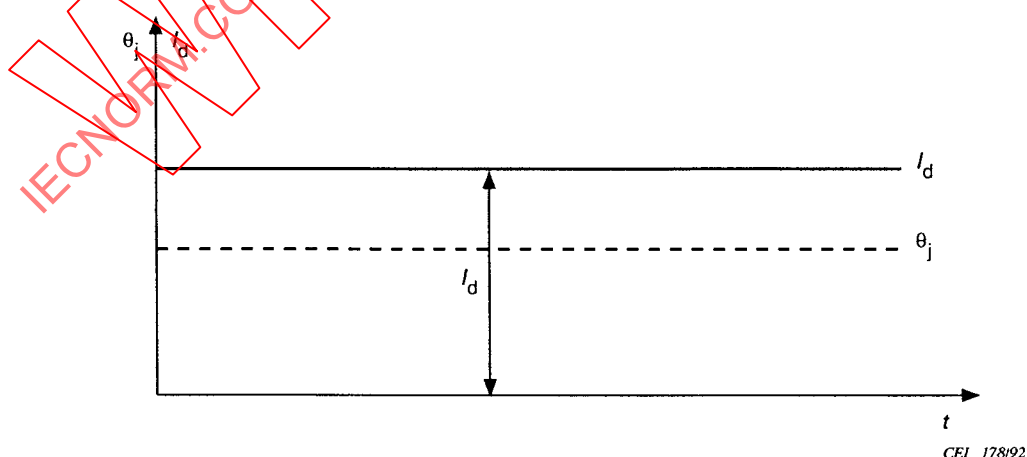


Figure 4 – Diagramme typique courant-temps pour régime de charge constante

2.10 common convertor transformer: Common transformer feeding two or more individual convertor assemblies which may be individually or simultaneously energized through common or separate windings.

2.11 equilibrium temperature: Steady-state temperature reached by a component of a convertor under specified conditions of load and cooling.

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

2.12 rated direct current (I_{dN}): Mean value of the direct current specified by the manufacturer for specified load and service conditions. It may be referred to as the base value to which other values of direct current are compared.

NOTE - Rated continuous direct current (I_{dNM}) as defined in IEC 146 is not always applicable to convertors for adjustable speed drives.

2.13 rated direct voltage: Specified value at rated direct current of the direct voltage between the d.c. terminals of the assembly or equipment. This is the mean value of the d.c. voltage.

2.14 rated a.c. voltage: The rated r.m.s. value of the a.c. supply voltage at the supply terminals of the convertor equipment, including the transformer if one is supplied. It may be referred to as the base value to which other values of a.c. supply voltage are compared.

2.15 current-time load chart: Record of load current with respect to time.

2.16 uniform load duty: Duty for which a convertor equipment carries a direct current of fixed value for an interval sufficiently long for the components of the convertor to reach equilibrium temperatures corresponding to the said value of current. Figure 4 illustrates this kind of duty.

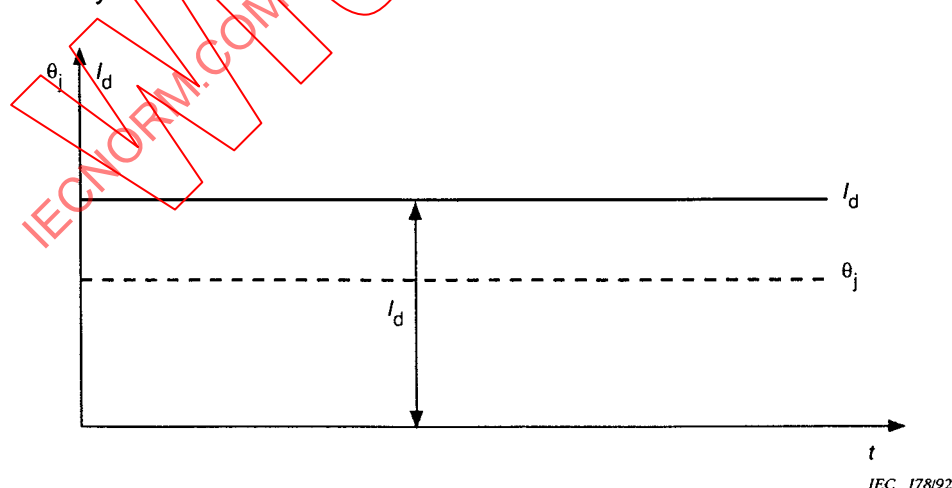


Figure 4 – Typical current-time chart for uniform load duty

2.17 régime de charge de pointe intermittente: Type de régime où des charges de grande amplitude et de courte durée sont appliquées à la suite de périodes à vide de telle sorte que l'équilibre thermique soit atteint entre les applications successives de la charge. La figure 5 illustre ce type de charge.

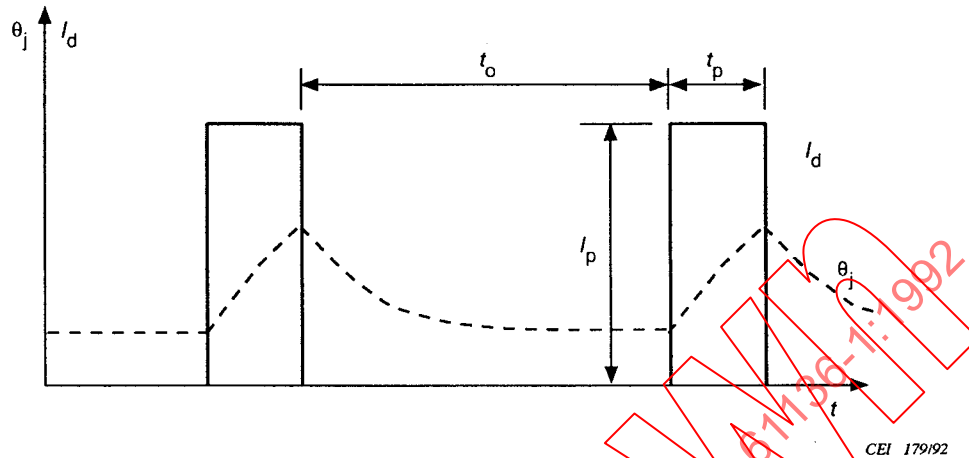


Figure 5 – Diagramme typique courant-temps pour régime de charge de pointe intermittente

2.18 régime de charge intermittente. Type de régime pour lequel des charges intermittentes sont superposées à une charge de base constante de telle sorte que l'équilibre thermique soit atteint entre les applications successives de la charge intermittente. La figure 6 illustre ce type de régime.

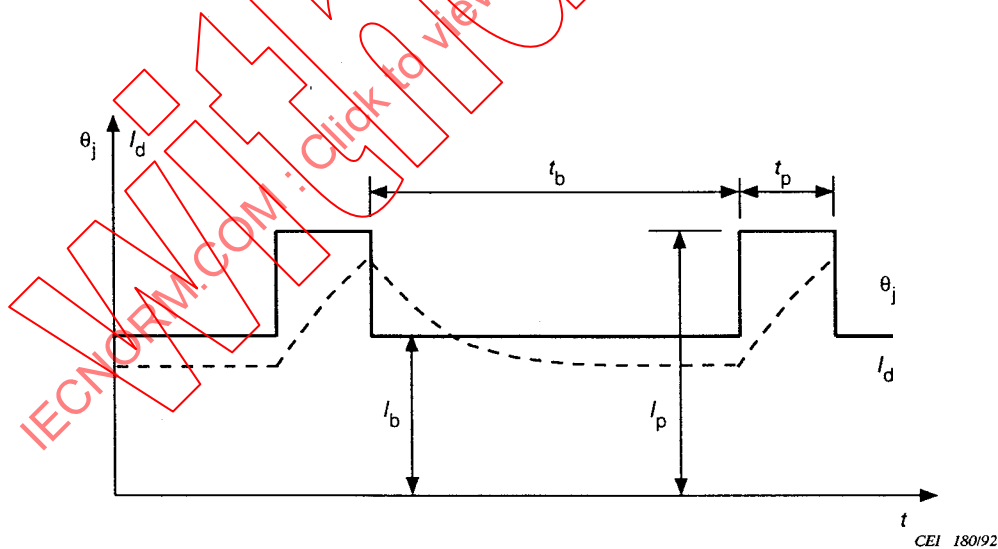


Figure 6 – Diagramme typique courant-temps pour régime de charge intermittente

2.17 Intermittent peak load duty: Type of duty for which loads of high magnitude and short duration are applied following no-load periods such that thermal equilibrium is reached between successive applications of the load. Figure 5 illustrates this type of duty.

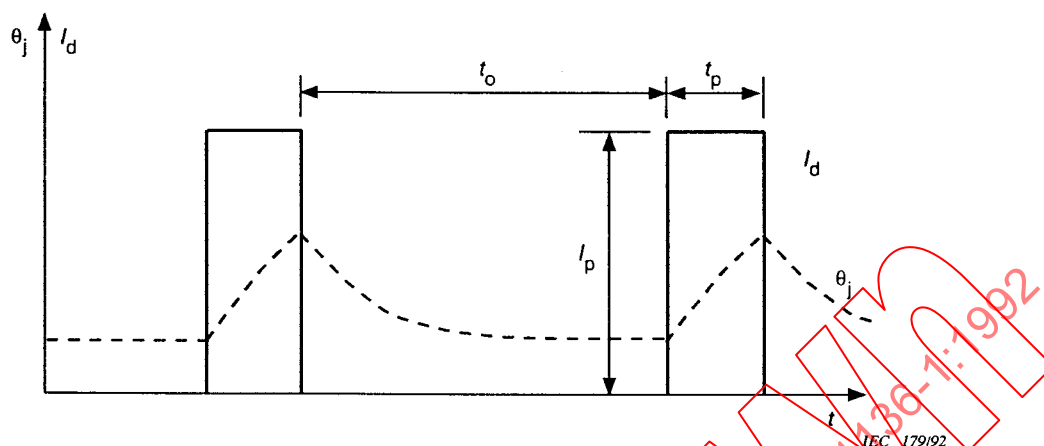


Figure 5 – Typical current-time chart for intermittent peak load duty

2.18 Intermittent load duty: Type of duty for which intermittent loads are superimposed onto a constant base load such that thermal equilibrium is reached between successive applications of the intermittent load. Figure 6 illustrates this type of duty.

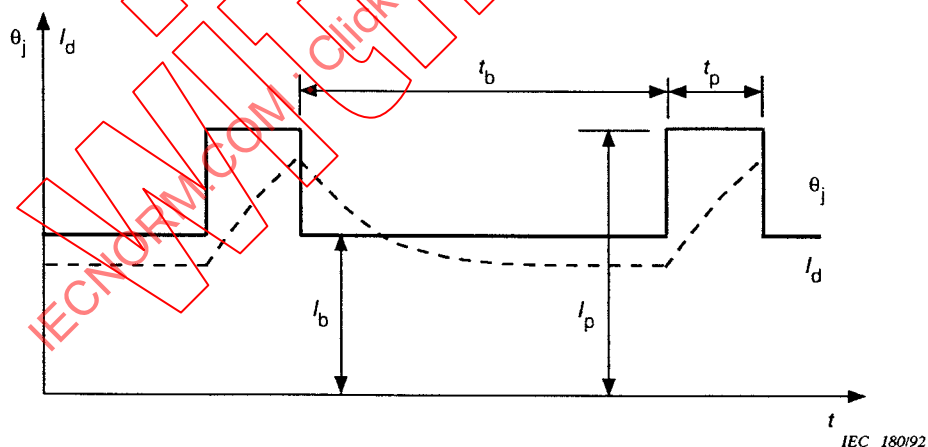


Figure 6 – Typical current-time chart for intermittent load duty

2.19 régime de charge répétitive: Type de régime pour lequel les charges sont périodiquement variables de telle sorte que l'équilibre thermique ne soit pas atteint dans une période du cycle. La figure 7 illustre ce type de régime.

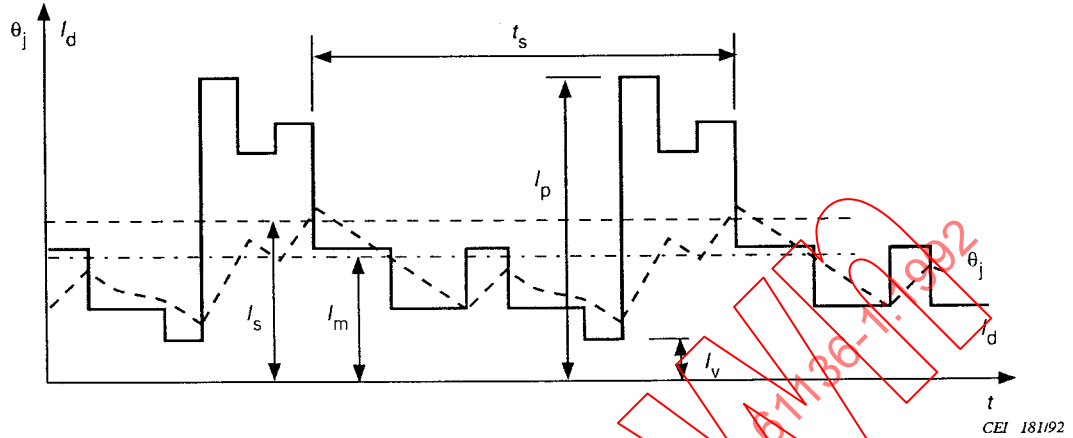


Figure 7 – Diagramme typique courant-temps pour régime de charge répétitive

2.20 régime de charge non répétitive: Type de régime pour lequel une pointe de charge est appliquée à la fin d'une période de charge constante durant laquelle l'équilibre thermique est atteint. La figure 8 illustre ce type de régime.

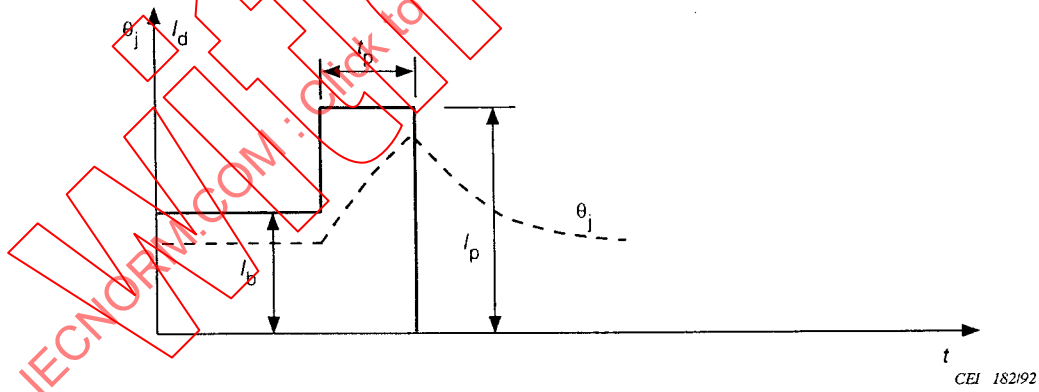


Figure 8 – Diagramme typique courant-temps pour régime de charge non répétitive

2.19 repetitive load duty: Type of duty for which loads are cyclically variable such that thermal equilibrium is not reached within the cycle period. Figure 7 illustrates this type of duty.

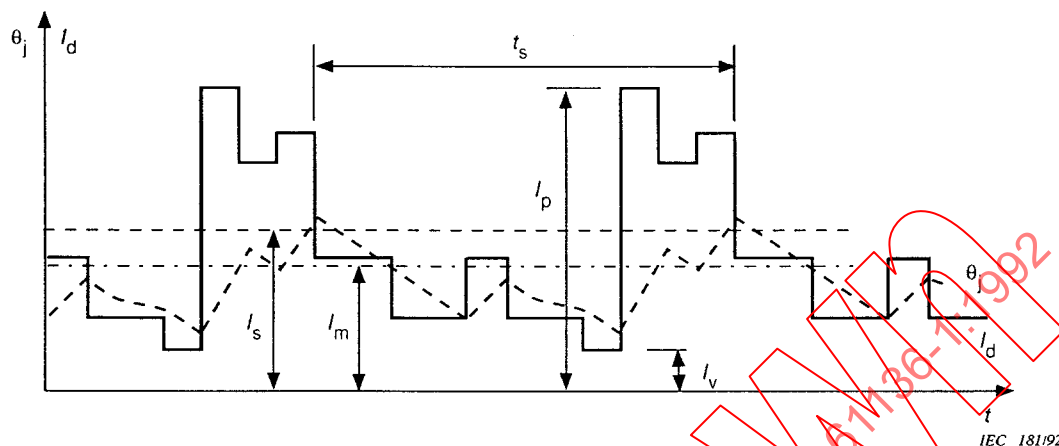


Figure 7 – Typical current-time chart for repetitive load duty

2.20 non-repetitive load duty: Type of duty for which a peak load is applied at the end of a constant load period during which thermal equilibrium is reached. Figure 8 illustrates this kind of duty.

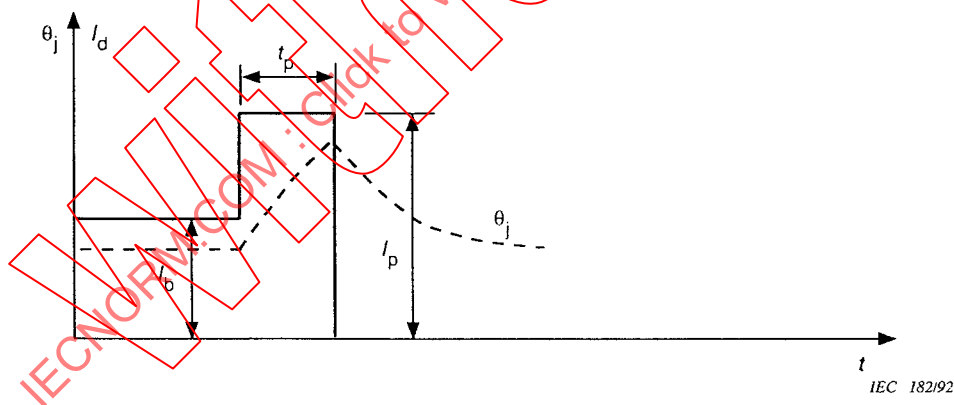


Figure 8 – Typical current-time chart for non-repetitive load duty

Tableau 1 – Liste des symboles

t_b	= durée à charge de base
t_s	= période du cycle de charge (durée)
t_o	= durée à charge nulle
t_p	= durée à la charge de pointe
t	= durée
I_b	= valeur du courant de charge de base
I_p	= valeur du courant de charge de pointe
I_v	= valeur pour la période t_s du courant de charge minimal
I_m	= valeur pour la période t_s du courant de charge moyen
I_s	= valeur pour la période t_s du courant de charge efficace
I_{dN}	= courant continu assigné
I_d	= courant continu de sortie de la section de convertisseur
θ_j	= température du convertisseur considéré. On prend habituellement la température de jonction du composant semiconducteur
I_{PM}	= courant crête assigné pour cycle de charge répétitive équivalent (voir 3.5.4.2)
I_{PMO}	= courant crête assigné pour cycle de charge répétitive équivalent avec $I_v = 0$ (voir 3.5.4.2)
r_n	= coefficient utilisé pour évaluer les pertes moyennes à la jonction du semiconducteur en valeur réduite, en fonction du courant continu en valeur réduite; il est donné par:
	$r_n = \frac{R_o I_{dN}}{V_o}$
où	
R_o	= valeur de résistance de la caractéristique à l'état passant du dispositif semiconducteur
V_o	= tension du seuil de la caractéristique à l'état passant du dispositif semiconducteur

3 Valeurs assignées

3.1 Généralités

Les grandeurs de dimensionnement définies dans cet article s'appliquent à des groupes convertisseurs à semiconducteurs complets, incluant des composants tels que conducteurs, appareillage, inductances et transformateurs définis en 2.1.

Les bases de dimensionnement d'un convertisseur réversible doivent être telles que le convertisseur travaillant soit comme redresseur soit comme onduleur doit être capable de supporter dans les deux cas toutes les conditions de charge spécifiées.

Les constantes de temps thermiques des semiconducteurs (y compris leurs dispositifs de refroidissement) sont beaucoup plus courtes que celles des transformateurs de convertisseur et des moteurs d'entraînement. Pour cette raison, les surcharges importantes de courte durée qui se produisent dans les cycles de charge habituels des divers types de variateurs de vitesse à moteur à courant continu sont de plus grande importance pour le convertisseur à semiconducteur lui-même que pour les transformateurs du convertisseur et les moteurs.

Les courants de pointe de courte durée tendent à provoquer dans le semiconducteur des échauffements plus rapides et d'amplitudes relativement plus élevées que dans les transformateurs et les moteurs.

Pour un dispositif semiconducteur, la température maximale de jonction définie par le fabricant est la température critique au-dessus de laquelle une perte de contrôle, un défaut ou une détérioration peuvent survenir.

Table 1 – List of symbols

t_b	= base load interval
t_s	= load cycle period (duration)
t_o	= no-load interval
t_p	= peak load duration
t	= time
I_b	= base load current value
I_p	= peak load current value
I_v	= minimum load current value for period t_s
I_m	= average load current value for period t_s
I_s	= r.m.s. load current value for period t_s
I_{dN}	= rated direct current
I_d	= direct current output of convertor section
θ_j	= temperature of the convertor under consideration. This is usually taken to be the junction temperature of the semiconductor device
I_{PM}	= rated peak current for equivalent repetitive load duty (see 3.5.4.2)
I_{PMO}	= rated peak current for equivalent repetitive load duty with $I_v = 0$ (see 3.5.4.2)
r_n	= factor which is used to evaluate the per-unit average semiconductor junction power loss as a function of the per-unit direct current, it is given by:
$r_n = \frac{R_o I_{dN}}{V_o}$	
where	
R_o	= resistance value of the on-state characteristic of the semiconductor device
V_o	= threshold value of the on-state characteristic of the semiconductor device

3 Rated values

3.1 General

The ratings defined in this clause are to be applied to complete semiconductor convertor equipments, including such components as conductors, switchgear, reactors and transformers as defined in 2.1.

The basis of the rating of a reversible convertor shall be such that the convertor operating either as a rectifier or as an inverter shall be capable of meeting in either case all the specified load conditions.

The thermal time constants of semiconductors (including their cooling devices) are much shorter than those for convertor transformers and drive motors. For this reason, the high short-time peak currents that occur in normal load duties of various types of adjustable speed d.c. motor drives are of greater significance for the semiconductor convertor itself than for the convertor transformers and motors.

Short-time peak currents tend to cause faster and relatively higher temperature rises in the semiconductor than in the transformers and motors.

For a semiconductor device the manufacturer's maximum junction temperature is the critical temperature above which loss of control, failure or deterioration may occur.

La température de jonction ne peut pas être mesurée directement, mais peut être calculée pour chaque diagramme de charge courant-temps.

Si les diagrammes de charge courant-temps peuvent être spécifiés par l'utilisateur, le constructeur peut calculer la température de jonction du semiconducteur pour s'assurer que la température maximale de jonction autorisée n'est pas dépassée.

Un diagramme de charge courant-temps peut toujours être utilisé comme base de dimensionnement.

Deux classes d'application sont prises en compte dans cette norme, l'une où les conditions de charge du convertisseur sont telles que les températures d'équilibre en régime établi soient atteintes entre chaque charge appliquée, l'autre avec des charges variables périodiquement de telle sorte que l'équilibre thermique ne soit pas atteint dans une période du cycle.

La première classe d'application est définie par les types de régime suivants :

- a) régime de charge constante (figure 4);
- b) régime de charge de pointe intermittente (figure 5);
- c) régime de charge intermittente (figure 6).

Une deuxième classe d'application est définie par les types de régime suivants :

- d) régime de charge répétitive (figure 7);
- e) régime de charge non répétitive (figure 8)

Pour éviter toute ambiguïté, il a été nécessaire de faire avec soin une distinction entre les valeurs assignées par section et les valeurs assignées par groupe. C'est pourquoi toutes les valeurs assignées, à l'exception du courant continu assigné I_{dN} , s'appliquent seulement aux sections du convertisseur à semiconducteurs, y compris les constituants tels que conducteurs, disjoncteurs, inductances et transformateurs définis en 2.8. Noter que certains constituants peuvent être communs à plus d'une section et ces constituants doivent être dimensionnés en conséquence. Cette situation n'a pas d'effet sur les bases du dimensionnement qui vise le groupe (système) plutôt que les composants.

Le courant continu assigné s'applique au groupe convertisseur et est utilisé comme base de valeur réduite pour toutes les grandeurs relatives aux sections du convertisseur.

3.2 Tension continue assignée

Le convertisseur doit être construit pour des tensions continues supérieures à la tension continue assignée afin de répondre aux besoins du réglage, et de permettre une marge additionnelle de régulation et de variation de la tension d'alimentation alternative. Cela conduit à une puissance apparente nominale du transformateur de convertisseur qui peut dépasser de beaucoup la puissance nominale de l'ensemble convertisseur (voir note).

Sauf spécification contraire, la tension à vide théorique doit être calculée de sorte que soient satisfaites les conditions de 3.2.1.

NOTE - Pour les convertisseurs utilisés pour les excitations machines, le convertisseur est souvent construit pour une tension supérieure à la tension directe assignée, afin d'augmenter la vitesse de variation du courant d'excitation durant les changements de courant d'excitation.

The junction temperature cannot be measured directly but it may be calculated for any load current-time chart.

If load current-time charts can be specified by the user, the manufacturer can calculate the junction temperature of the semiconductor to make certain that the maximum permissible junction temperature is not exceeded.

A load current-time chart can always be used as a basis for rating.

Two application classes are considered in this standard, one with convertor loading conditions such that equilibrium temperature conditions are obtained between all superimposed loads and the other with cyclically variable loads such that thermal equilibrium is not reached within the cycle period.

The first application class is defined by the following types of duty:

- a) uniform load duty (figure 4);
- b) intermittent peak load duty (figure 5);
- c) intermittent load duty (figure 6).

A second application class is defined by the following types of duty:

- d) repetitive load duty (figure 7);
- e) non-repetitive load duty (figure 8).

To avoid ambiguity, it has been necessary to distinguish carefully between section ratings and equipment ratings. Consequently, all ratings except rated direct current I_{dN} apply only to the semiconductor convertor sections including such components as conductors, switch-gear, reactors and transformers as defined in 2.8. Note that some components may be common to more than one section and such components shall be rated accordingly. This situation has no effect on the basis of rating which is equipment (system) rather than component orientated.

Rated direct current is applied to the convertor equipment and is used as the per-unit base for all of the ratings applied to the convertor sections.

3.2 Rated direct voltage

The convertor has to be designed for direct voltages higher than the rated direct voltage in order to meet the control requirements, and allow an additional margin for regulation and a.c. line voltage variations. This results in a rated apparent power for the convertor transformer that may greatly exceed the rated power of the convertor assembly (see note).

Unless otherwise specified, the ideal no-load voltage shall be calculated so as to satisfy the requirements of 3.2.1.

NOTE - For convertors used for field excitation the convertor is often designed for higher than the rated direct voltage in order to increase the rate of change of the field current during field current changes.

3.2.1 Limites de la tension de fonctionnement

3.2.1.1 Limites de tension pour les performances assignées

Les performances assignées au convertisseur doivent être conservées lorsque la composante fondamentale en régime établi de la tension de la ligne d'alimentation en courant alternatif est égale ou supérieure à 100 % de sa valeur assignée, ou inférieure ou égale à 110 % de cette valeur, la mesure étant faite aux bornes d'entrée du groupe convertisseur ou du transformateur de convertisseur si celui-ci est inclus.

Le fonctionnement assigné pour les tensions inférieures à 100 % de la valeur assignée de ligne doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur/constructeur.

3.2.1.2 Limites de tension pour fonctionnement sans interruption de service

Le fonctionnement sans interruption de service doit être assuré même pendant le régime onduleur lorsque la composante fondamentale de la tension de la ligne d'alimentation en courant alternatif est égale ou supérieure à 90 % de sa valeur assignée, ou inférieure ou égale à 110 % de cette valeur.

Dès lors que la commutation réussie de l'onduleur est une fonction de la tension alternative d'alimentation et du courant continu instantané, la performance assignée peut ne pas être atteinte à cette tension d'alimentation.

3.3 Valeurs assignées de température

Les limites maximale et minimale de la température ambiante ou de la température du fluide de refroidissement peuvent être spécifiées par l'utilisateur, ou par le constructeur dans son offre. Ces températures sont de préférence spécifiées par intervalles de 5 °C.

Sauf spécification contraire, le convertisseur à semiconducteurs doit être capable de fonctionner dans les conditions suivantes:

3.3.1 Valeurs assignées de température pour les blocs et les groupes à semiconducteurs

3.3.1.1 Limites de température de l'air ambiant

a)	Condition	Minimum	Maximum	Catégorie ¹⁾
	Stockage*	–5 °C	+45 °C	1K3
	Transport*	–40 °C**	+70 °C	2K4
	Fonctionnement			
	air conditionné	+20 °C	+25 °C	3K1
	intérieur	+5 °C	+40 °C	3K3
	extérieur	–33 °C	+40 °C	4K2

* Les limites indiquées s'appliquent lorsque le fluide de refroidissement est enlevé.

** Si des condensateurs électroniques ou des batteries sont utilisées dans l'équipement, cette valeur peut devoir être limitée à –25 °C.

¹⁾ Selon la CEI 721.

b) La moyenne journalière de la température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 30 °C.

c) La moyenne annuelle de la température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 20 °C.

NOTE - En cas de stockage à basse température, il convient de prendre des précautions pour éviter la condensation d'humidité dans les armoires afin d'empêcher tout risque de détériorations dues au gel de cette condensation.

3.2.1 Voltage operating limits

3.2.1.1 Voltage limits for rated performance

Rated convertor performance shall be maintained when the steady-state fundamental component of the line a.c. supply voltage is equal to or greater than 100 % and equal to or less than 110 % of the rated value measured at the terminals of the convertor equipment or the convertor transformer, if included.

Rated operation at voltages below 100 % of rated voltage shall be subject to agreement between the user and the supplier/manufacturer.

3.2.1.2 Voltage limits for uninterrupted operation

Uninterrupted operation of the convertor shall be maintained even during inverter operation when the fundamental component of the line a.c. supply voltage is equal to or greater than 90 % and equal to or less than 110 % of the rated voltage.

Since successful inverter commutation is a function of the a.c. supply voltage and instantaneous direct current, the rated performance may not be attained at this supply voltage.

3.3 Rated temperature values

The maximum and minimum limits of the ambient temperature or cooling medium temperature may be specified by the user or by the manufacturer in his tender. These temperatures should preferably be specified in 5 °C increments.

If not otherwise specified, the semiconductor convertor shall be capable of operation under the following conditions:

3.3.1 Rated temperature values for semiconductor assemblies and equipments

3.3.1.1 Ambient air temperature limits

a) Condition	Minimum	Maximum	Class ¹⁾
Storage*	–5 °C	+45 °C	1K3
Transportation*	–40 °C**	+70 °C	2K4
Operating			
air conditioned	+20 °C	+25 °C	3K1
indoor	+5 °C	+40 °C	3K3
outdoor	–33 °C	+40 °C	4K2

* The limits shown apply with the cooling fluid removed.

** If electronic capacitors or batteries are used in the equipment this value may have to be limited to –25 °C.

¹⁾ According to IEC 721.

b) Daily average ambient air temperature shall not exceed 30 °C.

c) Yearly average ambient air temperature shall not exceed 20 °C.

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

3.3.1.2 Limites de température du fluide de refroidissement en fonctionnement, y compris durant les périodes hors charge

Fluide	Minimum	Maximum
Air	+5 °C	+40 °C
Eau	+5 °C	+30 °C
Huile	–5 °C	+30 °C

NOTE - Les valeurs de température maximale spécifiées sont celles qui s'appliquent au fluide de refroidissement fourni par l'utilisateur et non, par exemple, aux fluides circulant pour le refroidissement interne, incorporés dans la construction du convertisseur.

3.3.2 Valeurs de température assignées pour les transformateurs de convertisseurs

Pour un groupe extérieur refroidi par air, le transformateur de convertisseur doit être construit pour fonctionner à une température atmosphérique ambiante qui ne dépasse pas 40 °C, dont la moyenne par période quelconque de 24 h n'excède pas 30 °C et dont la moyenne annuelle n'excède pas 20 °C.

Pour un groupe intérieur refroidi par air, le transformateur de convertisseur doit être construit pour fonctionner à une température atmosphérique ambiante de 40 °C.

Pour un groupe refroidi par eau, le transformateur de convertisseur doit être capable de fonctionner avec une température d'entrée de l'eau de refroidissement qui ne dépasse pas 30 °C et dont la moyenne ne dépasse pas 25 °C par période quelconque de 24 h.

Les échauffements admissibles des enroulements des transformateurs de convertisseur, mesurés par résistance, ne devront pas dépasser les valeurs suivantes:

	Diélectrique liquide	Type sec
Classe d'isolement	105 120	155 220
Echauffement (K)	55 65	80 150

- 1) La classe d'isolement 120 concerne un isolement au papier thermiquement renforcé avec une température autorisée de point chaud de 120 °C.
- 2) Les courants dépassant 1,0 en valeur réduite ne peuvent être appliqués que sur la base d'un cycle de charge tel que la charge efficace ne dépasse pas la valeur assignée de dimensionnement du transformateur en prenant en compte le fait qu'un transformateur peut alimenter plusieurs convertisseurs.
- 3) Les transformateurs de convertisseur doivent supporter les valeurs de dimensionnement spécifiées pour les convertisseurs associés, lorsqu'ils sont chargés selon les réserves ci-dessus indiquées en 2).

3.4 Système d'établissement des valeurs assignées de courant en fonction du temps pour les blocs et les groupes à semiconducteurs

Tous les convertisseurs, avec ou sans transformateur, doivent être dimensionnés selon un des cycles de charge suivants:

- 1) régime de charge constante (figure 4);
- 2) régime de charge de pointe intermittente (figure 5);
- 3) régime de charge intermittente (figure 6);
- 4) régime de charge répétitive (figure 7);
- 5) régime de charge non répétitive (figure 8).

3.3.1.2 Operational cooling fluid temperature limits including off-load periods

<i>Fluid</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Air	+5 °C	+40 °C
Water	+5 °C	+30 °C
Oil	–5 °C	+30 °C

NOTE - The maximum temperature values specified are those referring to the cooling medium to be supplied by the user and not, for example, to circulating heat transfer agents included in the convertor design.

3.3.2 Rated temperature values for convertor transformers

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

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

For water-cooled equipment, the convertor transformer shall be capable of operating with incoming cooling water temperature which does not exceed 30 °C and does not average more than 25 °C for any 24 h period.

The allowable temperature rise of convertor transformer windings as measured by resistance changes shall not exceed the following values:

	<i>Liquid-filled</i>		<i>Dry-type</i>	
Insulation class	105	120	155	220
Temperature rise (K)	55	65	80	150

1) Insulation class 120 designates thermally upgraded paper insulation with a permissible hottest spot temperature of 120 °C.

2) Currents in excess of 1.0 per unit may only be applied on a load cycle basis such that the r.m.s. loading does not exceed transformer rating including consideration that one transformer may supply several convertors.

3) Convertor transformers shall carry the ratings specified for the associated convertor when loaded in accordance with the provisions of 2) above.

3.4 System of establishing rated current-time values for semiconductor assemblies and equipments

All convertors, with or without a transformer, shall be rated in terms of one of the following five duties:

- 1) uniform load duty (figure 4);
- 2) intermittent peak load duty (figure 5);
- 3) intermittent load duty (figure 6);
- 4) repetitive load duty (figure 7);
- 5) non-repetitive load duty (figure 8).

Toutes les valeurs de courant assignées sont définies pour un régime donné. Si un bloc ou un groupe à semiconducteurs est conçu pour travailler selon divers régimes de charge, des valeurs distinctes de courant et de temps doivent être spécifiées.

Il y a lieu de noter que ces valeurs assignées s'appliquent aussi au groupe en tant que système complet destiné à une application spécifique, et non à un élément particulier de ce système.

3.4.1 *Courant assigné d'un transformateur de convertisseur commun*

Un transformateur commun, alimentant deux convertisseurs ou plus, peut être spécifié en termes de courant continu assigné, même si les convertisseurs individuels peuvent être spécifiés sur une base de régime intermittent. Dans les cas appropriés, il peut aussi être spécifié sur la base du dimensionnement donné en 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4 ou 3.5.5.

3.4.2 *Valeurs assignées d'un convertisseur réversible*

Des valeurs distinctes de dimensionnement peuvent être assignées à chaque section de convertisseur réversible à semiconducteurs, sauf si le régime de charge de chaque section est le même.

Les valeurs assignées de chaque section doivent être conformes à 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4 ou 3.5.5.

3.4.3 *Détermination du type de régime*

Pour les applications d'entraînements par moteur à courant continu à vitesse variable, les diagrammes de charge courant-temps sont très souvent complexes et variés en amplitude de courant, en durée et en fréquence de répétition. Cependant, l'examen du diagramme du courant de charge déterminera habituellement le type le plus convenable de régime de charge à utiliser comme base de courants assignés.

Si le type de régime de charge change, il convient de vérifier les effets de ce changement sur tous les constituants du système. Le réglage des éléments de contrôle et de protection peut aussi être nécessaire.

3.5 *Courants assignés pour les groupes et les sections*

Tous les courants assignés s'appliquent à la plage totale spécifiée de variation de la tension continue.

3.5.1 *Courants assignés pour le régime de charge constante*

La valeur du courant de charge de base, dans ce cas, est habituellement spécifiée comme le courant continu assigné ($I_b = I_{dN}$).

Le choix d'autres valeurs de base fait l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Voir 2.16 et la figure 4.

All rated current values are assigned for a specified duty. If a semiconductor assembly or equipment is designed to operate for different types of duty, separate current and time values shall be specified.

It should be noted that these ratings also apply to the equipment as a complete system committed to a specific application and not to any particular part of that system.

3.4.1 *Rated current of a common convertor transformer*

A common transformer feeding two or more convertor assemblies may be specified in terms of rated direct current even though the individual convertors may be specified on an intermittent duty basis. In appropriate cases it may also be specified in terms of the basis of rating given in 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4 or 3.5.5.

3.4.2 *Rated values of a double convertor*

Different rated values can be assigned to each section of a semiconductor double convertor unit unless the duty of each section is the same.

The rated values of each section shall be in accordance with 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4 or 3.5.5.

3.4.3 *Determination of duty type*

For adjustable speed d.c. motor drive applications, the current-time load charts are very often complex in variety of current magnitude, duration and repetition frequency. However, examination of the current-time load chart will usually determine the most suitable type of load duty to be used as a basis for rated currents.

If the load duty changes, the effect of that change on all parts of the system should be checked. Adjustment of control and protective elements may also be required.

3.5 *Rated currents for equipments and sections*

All current ratings apply over the entire specified direct voltage control range.

3.5.1 *Rated currents for uniform load duty*

The base load current value for this case is usually specified as the rated direct current ($I_b = I_{dN}$).

Other base values are subject to agreement between the supplier and the user.

See 2.16 and figure 4.

3.5.2 Courants assignés pour le régime de charge de pointe intermittente

Le courant continu assigné n'est pas applicable dans ce cas. Les caractéristiques assignées de courant dans le régime de charge de pointe intermittente font l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur. La durée (t_p), l'amplitude (I_p) du courant de pointe et la durée minimale (t_o) de la période sans charge doivent être spécifiées.

Voir 2.17 et la figure 5.

3.5.3 Courants assignés pour le régime de charge intermittente

Le courant de charge de base, dans ce cas, est d'habitude spécifié comme le courant continu assigné ($I_b = I_{dN}$). Les caractéristiques assignées de courant dans le régime de charge intermittente font l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

La durée (t_p) et l'amplitude (I_p) du courant de pointe, le courant de charge de base (I_b) et la durée minimale (t_o) de fonctionnement à la charge de base doivent être spécifiés. La durée (t_p) du courant crête (I_p) doit être telle que la température maximale autorisée pour la jonction du semiconducteur ne soit pas dépassée.

Voir 2.18 et la figure 6.

Le régime de charge intermittente peut être spécifié par la même famille de courbes que le régime de charge non répétitive (voir figure 11) avec t_p donnant la durée de la charge appliquée de façon intermittente dans ce cas.

3.5.4 Courants assignés pour le régime de charge répétitive

Le courant continu assigné du groupe convertisseur doit être spécifié comme la valeur efficace du courant de charge évalué au cours de la période du cycle de charge dans le cas le plus défavorable. Il correspond habituellement au courant continu assigné du moteur à courant continu ou des moteurs alimentés par l'équipement convertisseur. Le courant de charge se partage entre les sections du convertisseur.

Le courant continu assigné (1,0 en valeur réduite) se réfère au groupe convertisseur et, pour un convertisseur double, il peut dépasser considérablement le courant efficace assigné de chaque section.

En plus du courant continu assigné il y a deux moyens de définir les caractéristiques assignées d'un régime de charge répétitive. Le premier moyen est défini en 3.5.4.1 et le second en 3.5.4.2.

3.5.4.1 Diagrammes de charge en fonction du temps pour le régime de charge répétitive

Il convient que le régime répétitif d'une section de convertisseur soit, si possible, spécifié par l'utilisateur en terme d'un ou de plusieurs diagrammes courant-temps applicables puisque cela permet le dimensionnement le plus économique. Ces diagrammes de courant en fonction du temps deviennent alors une partie de la spécification entre l'utilisateur et le fournisseur, et sont, en fait, les caractéristiques assignées de courant de la section de convertisseur pour un régime de charge répétitive dans une application donnée. Dans chaque cas, la durée du cycle de charge (t_s), la valeur de pointe (I_p), la valeur minimale (I_v), la valeur moyenne (I_m) et la valeur efficace (I_s) du courant de charge, calculées au cours de la période (t_s) du cycle de charge, doivent être spécifiées pour chaque section de convertisseur (figure 7 et tableau 1).

NOTE - Il n'est pas nécessaire, pour des diagrammes de charge en fonction du temps, d'inclure des marges pour des conditions anormales. En effet le groupe est de toute façon conçu pour fournir une protection adéquate dans de telles conditions.

3.5.2 Rated currents for intermittent peak load duty

Rated direct current is not applicable in this case. Intermittent peak load duty current ratings are subject to agreement between the supplier and the user. The duration (t_p) and magnitude (I_p) of the peak current and the minimum time (t_o) of no-load shall be specified.

See 2.17 and figure 5.

3.5.3 Rated currents for intermittent load duty

The base load current for this case is usually specified as the rated direct current ($I_b = I_{dN}$). Intermittent load duty current ratings are subject to agreement between the supplier and the user.

The duration (t_p) and magnitude (I_p) of the peak current, the base load current (I_b) and the minimum time (t_o) of operation at the base load shall be specified. The duration (t_p) of the peak current (I_p) shall be such that the maximum permissible temperature of the semiconductor junction is not exceeded.

See 2.18 and figure 6.

Intermittent load duty can be specified by the same family of curves shown in figure 11 for non-repetitive load duty with t_p denoting the duration of the intermittently applied load in this case.

3.5.4 Rated currents for repetitive load duty

The rated direct current of the converter equipment shall be specified as the r.m.s. value of the load current evaluated over the period of the load duty cycle in the worst case. It usually corresponds to the rated continuous current of the d.c. motor or motors supplied by the converter equipment. The load current is shared by the converter sections.

The rated direct current (1,0 p.u.) refers to the converter equipment and for a double converter it may exceed considerably the r.m.s. current rating of either section.

In addition to the rated direct current, there are two ways of defining ratings for repetitive load duty. The primary way is given in 3.5.4.1 and a secondary way is given in 3.5.4.2.

3.5.4.1 Load-time charts for repetitive load duty

The repetitive duty of a converter section should, when possible, be specified by the user in terms of one or more applicable current-time charts since this will result in the most economic design. These current-time charts then become part of the specifications between the user and the supplier and are, in effect, the current ratings of the converter section for repetitive load duty in the given application. In each case, the duration of the duty cycle (t_s), the peak value (I_p), the minimum value (I_v), the average value (I_m) and the r.m.s. value (I_s) of the load current evaluated over the period (t_s) of the duty cycle shall be specified for each converter section (figure 7 and table 1).

NOTE - It is not necessary for load-time charts to include allowances for abnormal conditions because the converter is otherwise designed to provide adequate protection for such conditions.

3.5.4.2 Caractéristiques assignées par cycle de charge répétitive équivalent

Il n'est pas toujours possible pour un utilisateur de spécifier des diagrammes détaillés courant-temps pour une application donnée, mais la nécessité de définir les caractéristiques d'un régime de charge répétitive peut toujours exister. Dans de tels cas, l'utilisateur ne doit spécifier que les valeurs de I_p , I_s , I_m , I_v et t_s telles qu'elles sont définies à la figure 7 et au tableau 1 par section de convertisseur. La base de définition des caractéristiques devient alors le diagramme de charge répétitive-temps équivalent illustré à la figure 9 avec I_p , I_v et t_s tels qu'ils sont spécifiés, et t_p donné par:

$$t_p = \left| \frac{(I_m - I_v) I_{dN} + r_N (I_s^2 - I_v^2)}{(I_p - I_v) I_{dN} + r_N (I_p^2 - I_v^2)} \right| \cdot t_s$$

dans lequel I_p , I_s , I_m , I_v et t_s correspondent aux valeurs spécifiées, et r_N est un facteur de pertes du semiconducteur associé à I_{dN} tel qu'il est défini au tableau 1.

La capacité d'une section de convertisseur de supporter un régime de charge répétitive équivalent peut être définie par la famille de courbes montrées à la figure 10. Soit un régime de charge répétitive donné et/ou les valeurs associées de I_p , I_s , I_m , I_v et t_s , la valeur pour la durée de charge de pointe t_p du cycle de charge répétitive équivalent peut être calculée par la relation ci-dessus, en utilisant les valeurs de I_{dN} et r_N associées à la famille de courbes de définition des caractéristiques assignées maximales d'un convertisseur donné en régime de charge répétitive équivalent, montrées, par exemple, à la figure 10. Le rapport t_p/t_s peut être calculé et la valeur de I_{PMO} correspondant à la valeur calculée pour t_p peut être lue sur la partie gauche des courbes de définition des caractéristiques. Avec cette valeur de I_{PMO} , la valeur de I_{PM} correspondant à une valeur réduite

$$\frac{I_v}{I_{dN}}$$

calculée pour le courant minimal peut être obtenue sur la partie droite des courbes de définition des caractéristiques. Un exemple d'application de cette procédure est illustré par les lignes pointillées sur la figure 10. Puisque $I_{PM} = I_{PMO}$ pour $I_v = 0$, l'entrée pour cette abscisse du côté droit peut être faite par la projection indiquée. Un régime de charge donné est alors inclus dans les caractéristiques limites de dimensionnement d'un convertisseur donné, si la valeur de $I_{PM} = I_{PM}$ (valeur réduite). I_{dN} ainsi obtenue est inférieure à la valeur crête I_p associée au cycle de charge considéré, car cela assure que la température de jonction assignée du composant semiconducteur ne sera pas dépassée. Si on le désire, on pourra se référer à l'annexe A pour la justification rationnelle de cette méthode de définition des caractéristiques assignées limites.

NOTE - Les courbes de capacité en régime de charge répétitive équivalent et les valeurs I_{dN} et r_N spécifiées, appliquées à un ou plusieurs jeux de valeurs de I_p , I_s , I_m , I_v et t_s , peuvent être utilisées indifféremment comme caractéristiques assignées pour un cycle de charge répétitive équivalent.

Il est habituel pour un fournisseur de convertisseur de spécifier une valeur maximale admissible de I_p qui correspond à un réglage de limitation de courant du régulateur du convertisseur, et une valeur maximale de I_s qui correspond habituellement à I_{dN} . De telles limites ont priorité sur les caractéristiques brutes découlant de la courbe du cycle de charge répétitive équivalent (voir 3.5.4).

3.5.4.2 Equivalent repetitive load duty rating

It may not always be feasible for a user to specify detailed load-time charts for a given application but the need for a repetitive load duty rating may still exist. In such cases, the user need only specify values for I_p , I_s , I_m , I_v , and t_s as defined in figure 7 and table 1 for the convertor section. The basis for the rating then becomes the equivalent repetitive load-time chart shown in figure 9 with I_p , I_v and t_s as specified, and t_p given by:

$$t_p = \left| \frac{(I_m - I_v) I_{dN} + r_N (I_s^2 - I_v^2)}{(I_p - I_v) I_{dN} + r_N (I_p^2 - I_v^2)} \right| \cdot t_s$$

in which I_p , I_s , I_m , I_v and t_s correspond to the specified values, and r_N is a semiconductor loss factor associated with I_{dN} as defined in table 1.

The capability of the convertor section to withstand the equivalent repetitive load duty can be defined by the family of curves shown in figure 10. Given a particular repetitive load duty and/or the associated values for I_p , I_s , I_m , I_v and t_s , the value for the peak load duration t_p for the equivalent repetitive load duty can be calculated in accordance with the above relation using the values of I_{dN} and r_N associated with the family of rating curves for equivalent repetitive load duty for the given convertor as shown by the example in figure 10. The ratio t_p/t_s can then be calculated and the value for I_{PMO} corresponding to the calculated value for t_p can be obtained from the left hand side of the rating curves. With this value for I_{PMO} , the value for I_{PM} corresponding to the per-unit value

$$\bar{I}_v = \frac{I_v}{I_{dN}}$$

calculated for the minimum current can be obtained from the right hand side of the rating curves. An example for this procedure is shown by the dotted lines in figure 10. Since $I_{PM} = I_{PMO}$ for $I_v = 0$, the entry for the abscissa on the right hand side can be made by the projection shown. The given load duty is then within the rating of the given convertor if the value for $I_{PM} = I_{PM} \text{ (p.u.)}$. I_{dN} so obtained is less than the peak value I_p associated with that load duty as this assures that the rated junction temperature of the semiconductor devices will not be exceeded. If desired, a reference can be made to annex A for a rationalization of this rating method.

NOTE - Either the equivalent repetitive load duty curves with I_{dN} and r_N specified on one or more sets of values for I_p , I_s , I_m , I_v and t_s can be used as a rating for equivalent repetitive load duty.

It is usual for the convertor supplier to specify a maximum allowable value for I_p that corresponds to a current limit setting of the convertor regulator and a maximum value of I_s that usually corresponds to I_{dN} . Such limits have precedence over those imposed by the equivalent repetitive load duty rating (see 3.5.4).

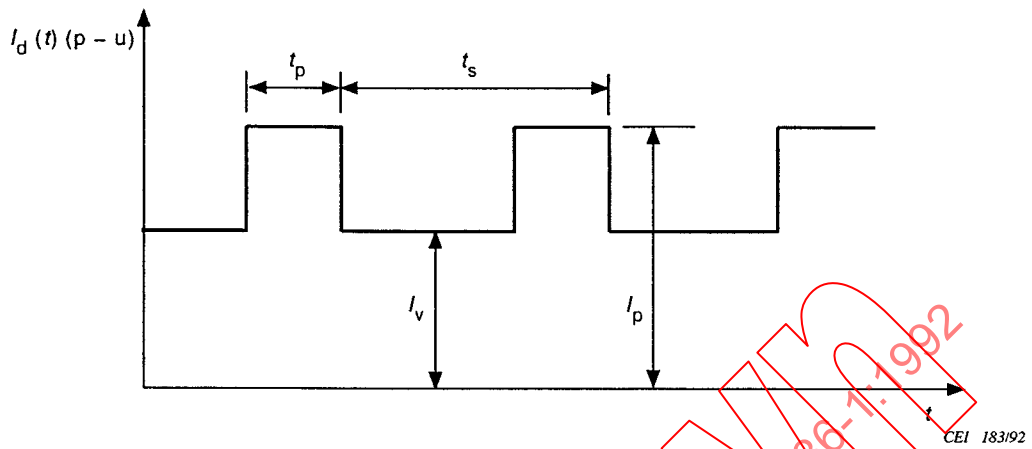


Figure 9 – Diagramme courant-temps du cycle de charge répétitive équivalent

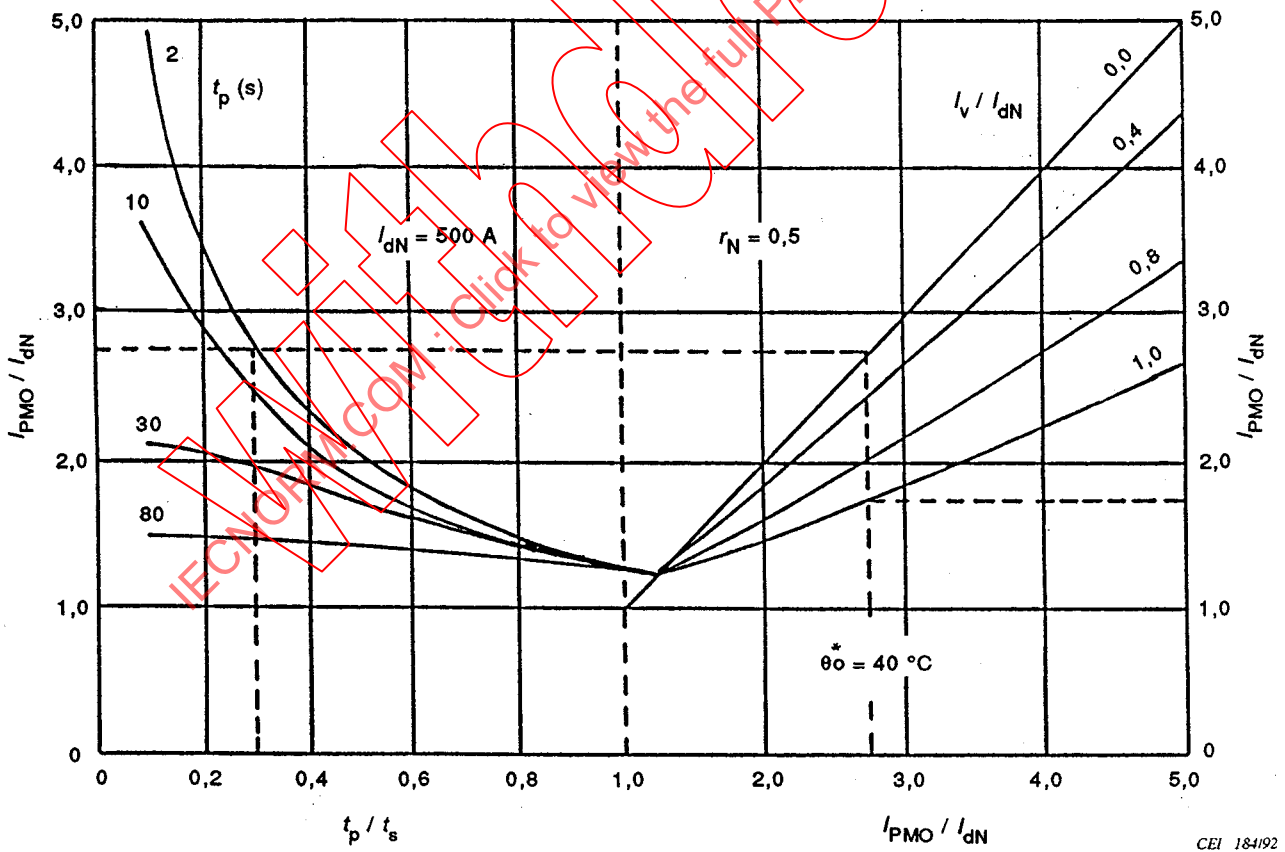


Figure 10 – Caractéristiques assignées limites pour cycle de charge répétitive équivalent

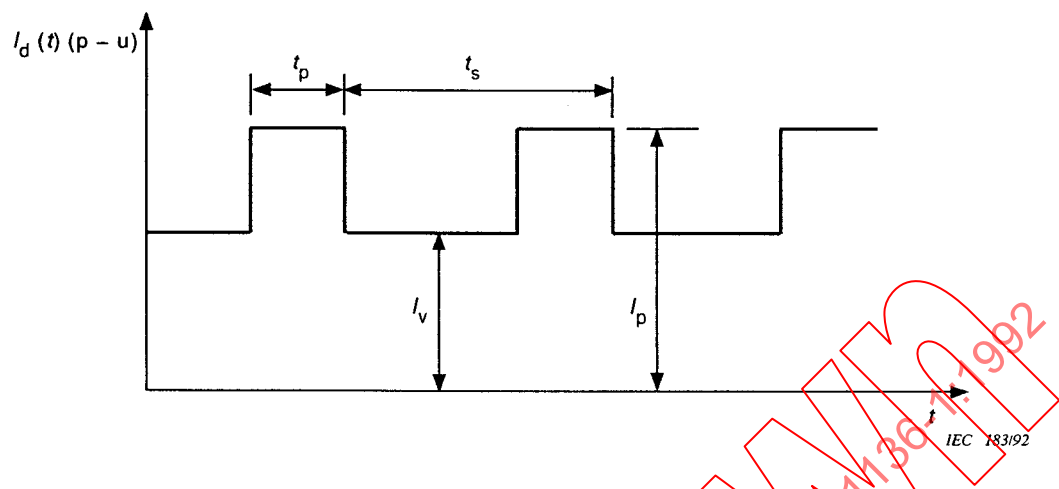


Figure 9 – Equivalent repetitive load duty load-time chart

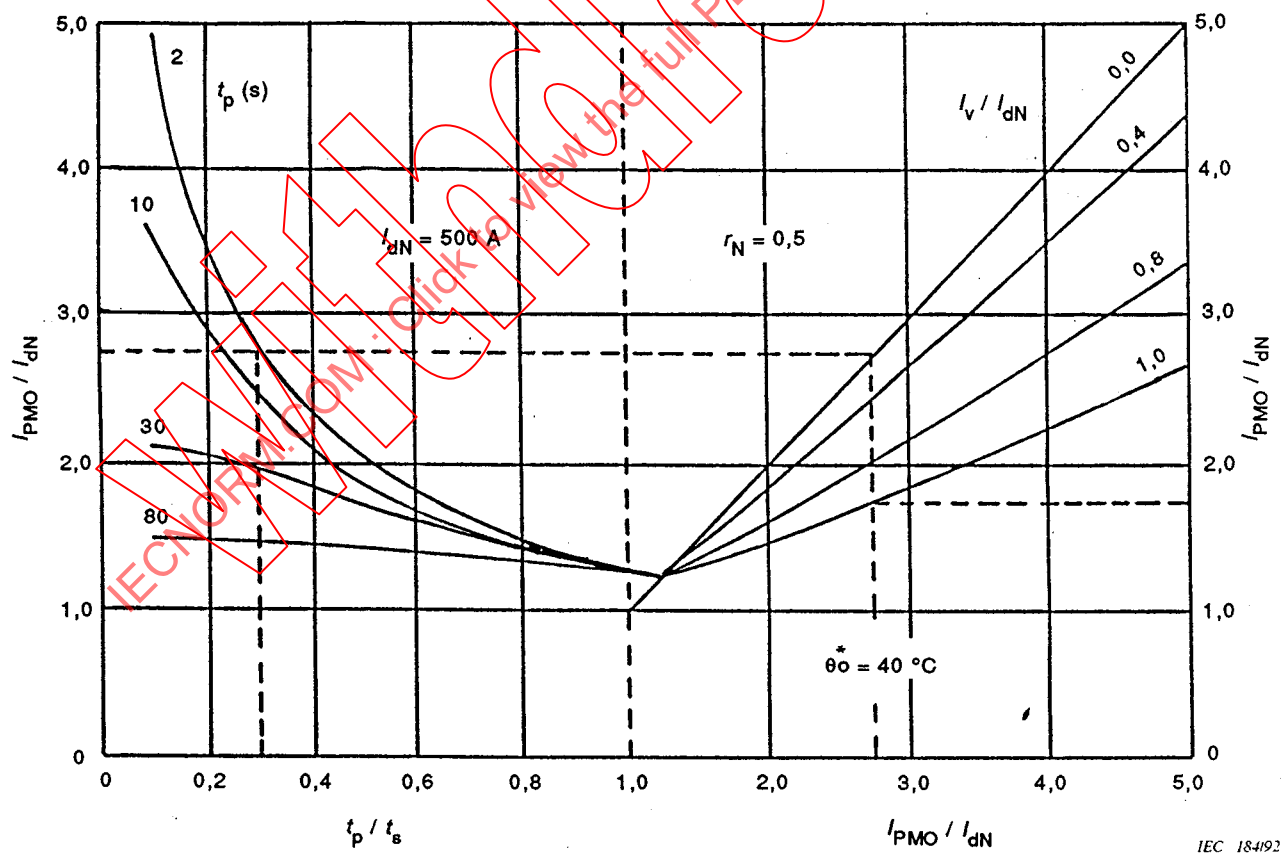


Figure 10 – Typical rating graphs for equivalent repetitive load duty

3.5.5 Courants assignés pour régime de charge non répétitive

Le courant continu assigné pour ce régime est habituellement spécifié comme le courant de base I_b . Les caractéristiques assignées pour des charges non répétitives font l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur (voir 2.20 et la figure 8).

Ce courant assigné peut être spécifié par une famille de courbes (I_p , I_b) pour différentes valeurs de durée de charge de pointe t_p comme le montre la figure 11. Il est habituellement possible de définir un régime de charge non répétitive équivalent pour d'autres types de régime de charge comme il a été noté en 3.5.3. Par exemple, l'équivalence est 1 à 1 pour un régime de charge intermittente. Un régime de charge non répétitive peut être utilisé en tant qu'approximation par défaut pour un régime de charge répétitive si les valeurs employées pour I_p et t_p dans le cas non répétitif sont les mêmes que les valeurs spécifiées pour le cas répétitif, et si la valeur utilisée pour I_b dans le cas non répétitif est donnée par la relation:

$$(I_b I_{dN}) + (r_N I_b^2) = (I_m I_{dN}) + (r_N I_s^2)$$

dans laquelle I_m et I_s sont les valeurs moyennes et efficaces, respectivement, spécifiées pour le cas répétitif et où r_N est le facteur de pertes du semiconducteur défini au tableau 1 et spécifié en tant que paramètre de dimensionnement dans la figure 10. Si ce paramètre n'est pas connu, une bonne approximation que l'on peut utiliser pour I_b , le plus souvent prudente, est:

$$I_b = \frac{2I_m + I_s}{3}$$

En raison de telles considérations, cette méthode de dimensionnement est souvent utilisée comme base d'établissement de classes de service (voir article 4) ou pour essayer la capacité dans un cycle de charge d'un groupe convertisseur (voir article 5).

3.5.5 Rated currents for non-repetitive load duty

The rated direct current for this duty is usually specified as the base load I_b . Non-repetitive load ratings are subject to agreement between the supplier and the user (see 2.20 and figure 8).

This current rating can be specified by a family of curves (I_p , I_b) for different values of peak load duration t_p as shown in figure 11. It is usually possible to define an equivalent non-repetitive load duty for other types of load duty as noted in 3.5.3. For example, the equivalence is one to one for intermittent load duty. Non-repetitive load duty can be used as a conservative approximation for repetitive duty if the values used for I_p and t_p in the non-repetitive case are the same as the values specified for the repetitive case, and if the value used for I_b in the non-repetitive case is obtained from the relation:

$$(I_b I_{dN}) + (r_N I_b^2) = (I_m I_{dN}) + (r_N I_s^2)$$

in which I_m and I_s are the mean and r.m.s. values, respectively, specified for the repetitive case and r_N is the semiconductor loss factor defined in table 1 and specified as a rating parameter in figure 10. If this parameter is not known, a good approximation that may be used for I_b , conservative in most cases, is:

$$I_b = \frac{2I_m + I_s}{3}$$

Because of such consideration, this rating is often used as a basis for establishing duty classes (see clause 4) or for testing the load duty capability of converter equipment (see clause 5).

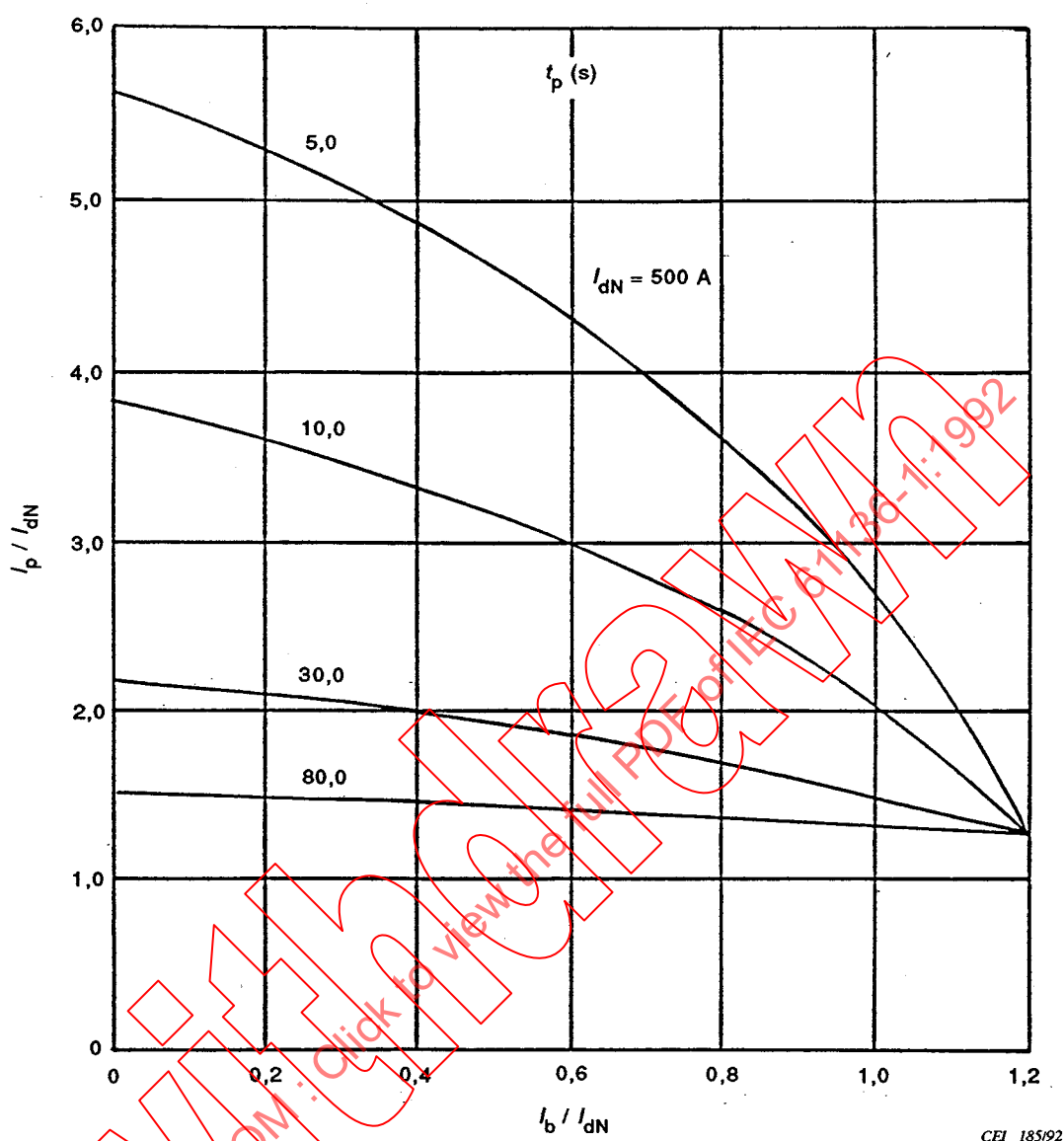


Figure 11 – Caractéristiques assignées limites typiques pour régime de charge non répétitive

3.6 Capacité de surcharge et de courant de pointe

Un ensemble convertisseur à semiconducteurs doit être capable de supporter les surcharges et les courants de pointe d'amplitude et de durée nécessaires pour permettre à ses équipements de protection de fonctionner comme prévu. L'équipement de protection doit permettre au convertisseur de supporter toutes les charges comprises à l'intérieur de ses caractéristiques assignées limites.

NOTE - Les caractéristiques assignées limites d'un convertisseur peuvent dépendre d'autres facteurs que la seule température de jonction des composants semiconducteurs. Par exemple, la fatigue mécanique des fusibles limiteurs de courants, due aux variations de température lors de conditions de charge variable, peut être un facteur de limitation et devrait être prise en considération.

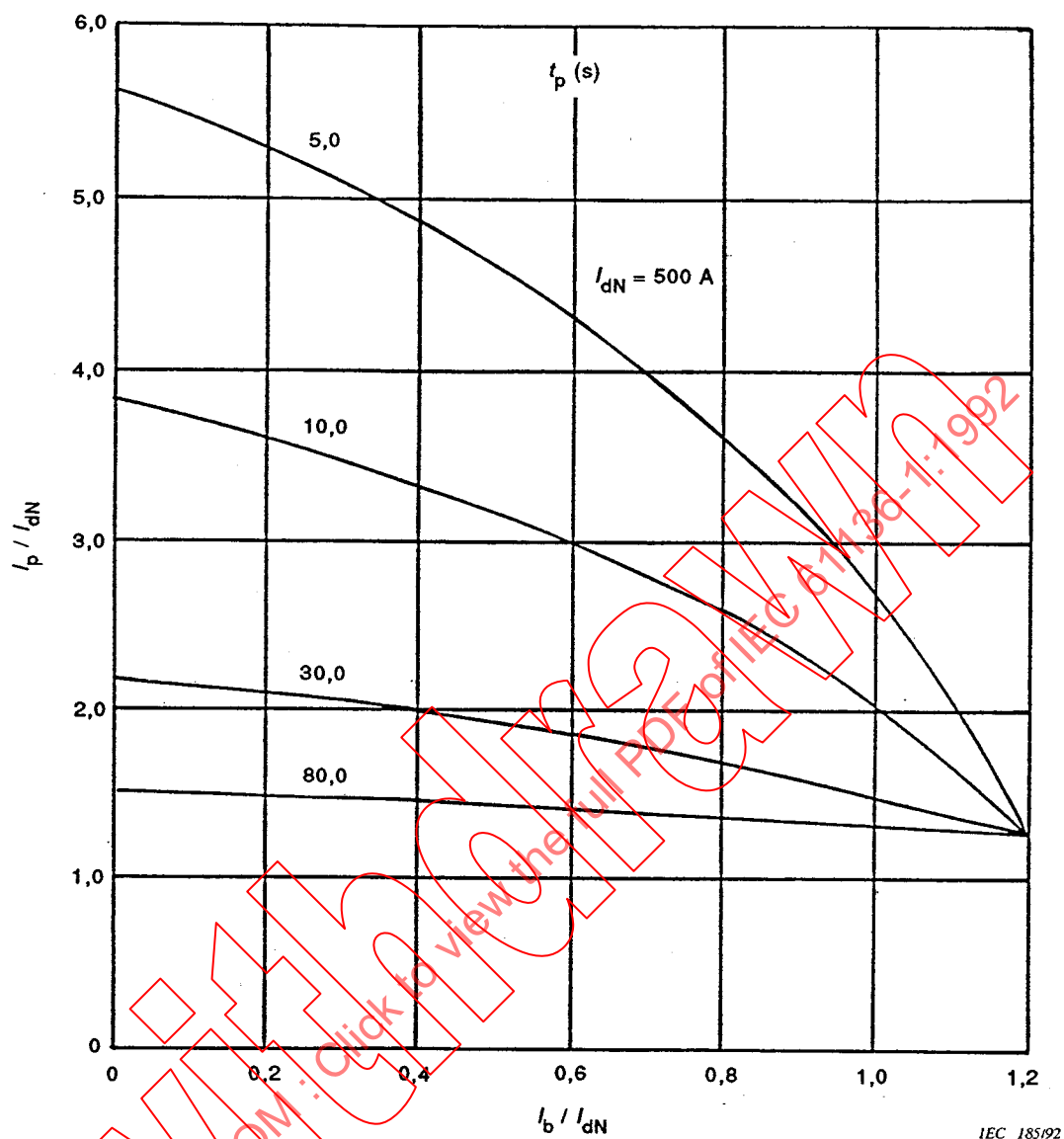


Figure 11 – Typical rating curves for non-repetitive load duty

3.6 Overload and surge current capability

A semiconductor converter unit shall be capable of withstanding overload and surge currents of such magnitude and duration as is necessary to allow its protective equipment to operate as intended. The protection equipment shall permit the converter unit to carry any of the loads within its specified ratings.

NOTE - Equipment ratings may depend on more than just the junction temperature of the semiconductor devices. For example, thermomechanical fatigue of current limiting fuses caused by thermal fluctuations under varying load conditions could be a limiting factor and should be taken into consideration.

3.7 Puissance continue assignée (équipement convertisseur)

La puissance assignée d'un groupe convertisseur est le produit du courant continu assigné et de la tension continue assignée de l'ensemble convertisseur.

3.8 Conditions de service

Les conditions de service sont tous les facteurs externes (température ambiante, humidité de l'air, caractéristiques de la source alternative, etc.) qui peuvent avoir une influence sur les performances du convertisseur de puissance. Elles sont divisées en deux groupes: conditions de service habituelles (3.8.1) et conditions de service anormales (3.8.2).

3.8.1 Conditions de service habituelles

Un groupe conforme à la présente norme doit être capable de fonctionner dans les conditions spécifiées en 3.8.1.1 à 3.8.1.4.

NOTE - Les conditions de service anormales (3.8.2) requièrent un accord spécial entre utilisateur et fournisseur.

3.8.1.1 Variations de tension du réseau à courant alternatif (variations de courte durée)

La forme d'onde des tensions du réseau alternatif, mesurées aux bornes du groupe convertisseur ou du transformateur de convertisseur, s'il est inclus, avec ce groupe raccordé et en fonctionnement sous n'importe quel type de conditions assignées, y compris à vide, doit satisfaire aux spécifications suivantes:

1) Réseaux basse tension

La composante alternative fondamentale de la tension de réseau ne doit pas être inférieure à 100 % ni supérieure à 110 % de la valeur assignée.

Le fonctionnement sans déclenchement doit être néanmoins possible si cette tension est égale ou supérieure à 90 % de la valeur assignée, même en régime onduleur. Toutefois, les performances spécifiées pourront ne pas être atteintes.

2) Les écarts instantanés répétitifs de la tension alternative du réseau par rapport à la valeur au même instant de l'onde fondamentale ne doivent pas dépasser 20 % de la valeur de crête de la tension alternative d'alimentation assignée. Par exception, cet écart peut être supérieur à 20 %, mais inférieur à 40 %, à condition que la durée dans chaque cas n'excède pas 100 μ s et que pas plus de deux cas n'arrivent dans chaque cycle.

3) La composante inverse de la tension de ligne fondamentale ne doit pas dépasser 5 % de la tension alternative de ligne assignée.

NOTES

1 Le transformateur de convertisseur peut être commun, mais affecté exclusivement à plusieurs groupes convertisseurs.

2 Les fluctuations de tension alternatives du réseau et/ou les perturbations peuvent être causées par d'autres convertisseurs ou groupes connectés au réseau alternatif, aussi bien que par le groupe convertisseur spécifié, fourni conformément aux dispositions de la présente norme.

3.8.1.2 Impédance de source alternative

L'impédance de source alternative est celle qui est définie aux bornes d'entrée de l'équipement convertisseur; elle est déterminée par les caractéristiques des lignes d'alimentation, des transformateurs d'alimentation et des autres charges connectées, telles que les moteurs et les condensateurs.

3.7 D.C. power rating (convertor equipment)

The power rating of a convertor equipment is the product of the rated direct current and the rated direct voltage of the convertor unit.

3.8 Service conditions

Service conditions are all the external factors (ambient temperature, air humidity, character of a.c. source, etc.) which may have an influence on the performance of a power convertor. These are divided into two groups: usual service conditions (3.8.1) and unusual service conditions (3.8.2).

3.8.1 Usual service conditions

Equipment conforming with this standard shall be capable of specified operation under the conditions stated in 3.8.1.1 through 3.8.1.4.

NOTE - Unusual service conditions (3.8.2) require special agreements between the user and supplier.

3.8.1.1 A.C. line voltage variations (short-term variations)

The waveform of the a.c. line voltages as measured at the terminals of the convertor equipment or convertor transformers, if included, with that equipment connected and in operation under any set of rated conditions including no load, shall satisfy the following requirements:

1) Low voltage sources

The a.c. fundamental component of the line voltage shall be not less than 100 % and not greater than 110 % of the rated value.

Uninterrupted operation, however, shall be possible if this voltage is equal to or greater than 90 % of the rated value, even under inverting conditions, although rated performance may not be achieved.

2) Repetitive instantaneous deviations of the a.c. line voltage from the simultaneous value of the fundamental component of the a.c. line voltage shall not exceed 20 % of the peak value of the rated a.c. line voltage with the exception that deviations greater than 20 % but less than 40 % are permissible provided that the duration in each instance does not exceed 100 μ s and that not more than two such instances occur in each cycle.

3) The negative sequence component of the a.c. fundamental line voltages shall not exceed 5 % of the rated a.c. line voltage.

NOTES

1 The convertor transformer may be common but dedicated only to several convertor equipments.

2 A.C. line voltage variations and/or disturbances may be caused by other convertors or equipment connected to the a.c. line as well as by the specified convertor equipment being supplied in accordance with the provisions of this standard.

3.8.1.2 A.C. source impedance

The a.c. source impedance is the impedance at the input terminals of the convertor assemblies and is determined by the characteristics of the supply conductors, supply transformers and other connected loads such as motors and capacitors.

3.8.1.2.1 *Impédance de source minimale*

L'impédance alternative de source minimale demandée pour un fonctionnement approprié du groupe convertisseur doit être spécifiée par le fournisseur. Des impédances additionnelles peuvent être fournies, telles que des réactances séries et/ou des transformateurs, si elles sont demandées.

NOTE - Pour garantir une tenue électrodynamique convenable des groupes et une coordination des protections, il convient que le courant de court-circuit symétrique maximal admissible du système alternatif aux bornes d'entrée du groupe convertisseur soit spécifié par le fournisseur.

3.8.1.2.2 *Impédance de source maximale*

L'impédance de source maximale alternative demandée pour un fonctionnement approprié du groupe convertisseur doit être spécifiée par le fournisseur.

3.8.1.3 *Variation de fréquence du réseau alternatif*

Les variations de fréquence du réseau alternatif à partir de la valeur assignée ne doivent pas excéder ± 1 %.

3.8.1.4 *Altitude*

Les spécifications s'appliquent lorsque l'altitude ne dépasse pas 1 000 m.

3.8.2 *Conditions de service anormales*

Le fonctionnement de groupes convertisseurs à semiconducteurs, du contrôle d'entraînement associé et de l'équipement d'entraînement dans des conditions s'écartant de celles de 3.8.1 doit être considéré comme anormal.

Des conditions anormales du type énuméré ci-dessous peuvent exiger une construction spéciale ou des protections particulières. Dans les cas où leur existence est connue ou prévue, ces conditions doivent être signalées à l'attention du constructeur.

- 1) Exposition à des fumées corrosives.
- 2) Exposition à une humidité excessive (humidité relative plus grande que 95 %).
- 3) Exposition à une poussière excessive.
- 4) Exposition à une poussière abrasive.
- 5) Exposition à la vapeur ou à la condensation.
- 6) Exposition à des vapeurs d'huile.
- 7) Exposition à des mélanges explosifs de poussières ou de gaz.
- 8) Exposition à de l'air salin.
- 9) Exposition à des vibrations anormales, à des chocs ou à des inclinaisons.
- 10) Exposition aux intempéries ou au ruissellement d'eau.
- 11) Exposition à des conditions de transport ou de stockage anormales.
- 12) Exposition à des changements extrêmes ou soudains de température.
- 13) Limitation de volumes anormales.
- 14) Régime anormal de fonctionnement.
- 15) Tensions alternatives d'alimentation déséquilibrées.
- 16) Impédances du système d'alimentation alternative déséquilibrées.

3.8.1.2.1 *Minimum source impedance*

The minimum a.c. source impedance required for proper operation of the converter equipment shall be specified by the supplier. Additional impedance can be provided by series reactors and/or transformers if required.

NOTE - To ensure adequate equipment bracing and protective co-ordination, the maximum allowable a.c. system symmetrical short-circuit current at the input terminals of the converter equipment should be specified by the supplier.

3.8.1.2.2 *Maximum source impedance*

The maximum a.c. source impedance required for proper operation of the converter equipment shall be specified by the supplier.

3.8.1.3 *A.C. line frequency variation*

The deviation of the frequency of the line voltage from the rated value shall not exceed $\pm 1\%$.

3.8.1.4 *Altitude*

The specifications apply when the altitude does not exceed 1 000 m.

3.8.2 *Unusual service conditions*

The use of semiconductor power converter equipment, associated drive control and drive equipment under conditions departing from those given in 3.8.1 shall be considered unusual.

Unusual conditions of the kind listed below may require special optional construction or protective features and, where known or expected to exist, shall be called to the attention of the manufacturer.

- 1) Exposure to damaging fumes.
- 2) Exposure to excessive moisture (relative humidity greater than 95 %).
- 3) Exposure to excessive dust.
- 4) Exposure to abrasive dust.
- 5) Exposure to steam or condensation.
- 6) Exposure to oil vapour.
- 7) Exposure to explosive mixtures of dust or gases.
- 8) Exposure to salt air.
- 9) Exposure to abnormal vibration, shocks or tilting.
- 10) Exposure to weather or dripping water.
- 11) Exposure to unusual transportation or storage conditions.
- 12) Exposure to extreme or sudden changes in temperature.
- 13) Unusual space limitations.
- 14) Unusual operating duty.
- 15) Unbalanced alternating-current voltages.
- 16) Unbalanced alternating-current system impedance.

- 17) Eau de refroidissement du redresseur contenant de l'acide ou des impuretés qui peuvent être la cause de formation excessive de tartre, de boues, de phénomènes d'électrolyse ou de corrosion des parties du redresseur en contact avec l'eau.
- 18) Champs magnétiques anormalement forts.
- 19) Rayonnement nucléaire anormalement élevé.
- 20) Température ambiante de la salle supérieure à 40 °C ou inférieure à 0 °C.
- 21) Altitude dépassant 1 000 m.
- 22) Niveaux anormalement élevés d'émetteurs de perturbations radioélectriques.
- 23) Surtensions non répétitives transitoires.

3.8.3 Conditions d'environnement

Il est reconnu que certaines industries contiennent une multitude de concentrations différentes de gaz, de poussières et de saletés.

Pour réduire au minimum les effets d'environnements préjudiciables au matériel (composants électroniques en particulier) et pour améliorer son aspect extérieur, il est recommandé d'installer le matériel dans l'air le plus propre dont on puisse disposer.

Par exemple, éviter l'emploi d'air issu directement d'un procédé industriel qui produit de la poussière en excès et/ou des sous-produits de gaz corrosifs (par exemple hauts fourneaux, fosses à scories, lignes de décapage, industrie du papier, etc.). Cela conduirait à la nécessité de fréquents programmes spéciaux de maintenance et engendrerait d'importants arrêts.

L'installation du matériel électronique dans un environnement propre et à des températures comprises entre 20 °C et 25 °C conduira à améliorer la sûreté de fonctionnement et la durée de vie, et à réduire les arrêts.

3.8.4 Stockage des groupes

a) Généralités

Le groupe doit être placé sous une bâche adéquate aussitôt après réception. Les emballages utilisés pour le transport ne conviennent généralement pas pour un stockage à l'extérieur ou sans protection.

b) Température et humidité

Maintenir la température de stockage dans les limites spécifiées de température de -5 °C à +45 °C (voir 3.3.1) et d'humidité relative entre 5 % et 95 %.

Les modules et les panneaux doivent être protégés de la condensation qui peut résulter de certains cycles de température et d'humidité. Si une partie du groupe ne doit pas être installée immédiatement, elle doit être stockée dans un endroit propre et sec, et protégée des variations de température, d'une humidité élevée et de la poussière.

Si possible, les variations brutales de température et d'humidité seront évitées. Si la température du lieu de stockage varie à tel point que les surfaces du groupe sont soumises à des conditions de suintement ou de congélation, le groupe devra être protégé par un système de chauffage sûr et fiable, qui conservera sa température juste au-dessus de celle de la salle de stockage. Si le groupe a été exposé à de basses températures pendant une période de temps importante, on ne doit pas le déballer avant qu'il ait atteint la température de la salle afin d'éviter tout risque de condensation. La présence de moisissure sur certaines pièces internes peut causer des défauts d'isolement électrique, spécialement là où des tensions élevées sont présentes.

- 17) Rectifier cooling water containing acid or impurities which may cause excessive scale, sludge, electrolysis, or corrosion of the rectifier parts exposed to the water.
- 18) Unusually strong magnetic fields.
- 19) Unusually high nuclear radiation.
- 20) Maximum ambient temperature of the room greater than 40 °C or less than 0 °C.
- 21) Altitudes exceeding 1 000 m.
- 22) Unusually high levels of radio frequency interference (RFI) transmitters.
- 23) Transient non-repetitive overvoltages.

3.8.3 *Environmental conditioning*

It is recognized that various industries contain multitudes of different concentrations of gases, dust and dirt.

To minimize the effects of adverse environments on the equipment (particularly on the electronic components) and to enhance its appearance it is advisable to install the equipment in the cleanest air readily available.

For example, avoid the use of air originating directly from industrial processes which produce excessive dust and/or corrosive gas by-products (e.g. blast furnaces, slag pits, pickle lines, paper manufacturing, etc.) and lead to the need for special and frequent maintenance schedules and the possibility of consequent outages.

The installation of electronic equipment in a clean environment with temperatures between 20 °C and 25 °C will lead to increased reliability, improved life and reduced outages.

3.8.4 *Storage of equipment*

a) *General*

The equipment shall be placed under adequate cover immediately upon receipt. Transportation packaging is not generally suitable for out-of-doors or unprotected storage.

b) *Temperature and humidity*

Maintain storage temperature within specified temperature limits of –5 °C to +45 °C (see 3.3.1) and relative humidity within 5 % to 95 %.

Modules and panels shall be protected from condensation which might result from certain temperature/humidity cycles. If any part of the equipment is not to be installed immediately, it shall be stored in a clean, dry place and protected from variations in temperature, high humidity and dust.

If possible, sudden changes in temperature and humidity should be avoided. If the temperature of the storage room varies to such an extent that equipment surfaces are exposed to sweating or freezing conditions, the equipment shall be protected by a safe, reliable heating system which will keep its temperature slightly above that of the storage room. If the equipment has been exposed to low temperatures for an extended period of time, it should not be unpacked until it has reached room temperature; otherwise condensation will occur. The presence of moisture on certain internal parts can cause electrical failure of insulation, especially where high voltages are present.

c) *Eau et saleté*

Tous les groupes, sauf ceux qui sont spécialement construits pour usage ou stockage à l'extérieur, doivent être protégés de la pluie, de la neige, du grésil, du vent, de la poussière, du sable et de la grêle.

d) *Matières corrosives*

Tous les groupes doivent être protégés du brouillard salin, des champignons et des autres agents ou contaminants corrosifs chimiques et/ou biologiques.

e) *Altitude*

Le groupe ne doit pas être stocké au-dessus de 4 500 m au-dessus du niveau de la mer.

f) *Durée du stockage*

Les spécifications ci-dessus s'appliquent à des durées de transport maritime et de stockage inférieures à un an. Des durées plus importantes peuvent demander des traitements spéciaux additionnels.

4 Classes de service pour régime de charge non répétitive

Des classes de service pour des charges non répétitives telles que celles qui sont données au tableau 2 peuvent être affectées lorsqu'elles conviennent à des applications de système d'entraînement électrique à vitesse variable.

Tableau 2 – Classes de service pour des applications industrielles non répétitives

Classe de service	I_b	I_p	t_p
IG	100 %	120 %	10 s
IIG	100 %	150 %	10 s
IIIG	100 %	150 %	60 s
IVG	100 %	150 %	60 s
	100 %	200 %	10 s
VG	100 %	200 %	60 s
	100 %	300 %	10 s

Le tableau 2 donne les valeurs de courants pour convertisseurs à semiconducteurs en pourcentage du courant continu assigné du groupe pour un régime de charge non répétitive tel qu'il est défini en 3.5.5 et dans la figure 8.

NOTE - Si deux jeux de valeurs sont spécifiés pour certaines classes de régime, les deux s'appliquent.

5 Essais pour des blocs thyristors

Tous les essais doivent être conduits selon la CEI 146, à l'exception de l'essai d'échauffement pour lequel une classe de service de charge intermittente ne peut être appliquée ni s'adapter. Dans ce cas, il y a lieu de réaliser l'essai d'échauffement en employant un cycle de charge répétitive équivalent (voir 3.5.4.2) ou un régime de charge non répétitive équivalent (voir 3.5.5).

c) *Water and dirt*

All equipment, except that especially designed for outdoor service or storage, shall be protected from rain, snow, sleet, wind, dust, sand and hail.

d) *Corrosive materials*

All equipment shall be protected from salt spray, fungus, and other chemical and/or biological corrosive contaminants or agents.

e) *Altitude*

Equipment shall not be stored above 4 500 m above sea level.

f) *Storage time*

The above specifications apply to shipping and storage durations of up to one year. Longer times may require additional special treatment.

4 Duty classes for non-repetitive load duty

Non-repetitive load duty classes as given in table 2 can be assigned when appropriate for adjustable speed electric drive system applications.

Table 2 – Duty classes for non-repetitive industrial applications

Duty class	I_b	I_p	t_p
IG	100 %	120 %	10 s
IIIG	100 %	150 %	10 s
IIIG	100 %	150 %	60 s
IVG	100 %	150 %	60 s
	100 %	200 %	10 s
VG	100 %	200 %	60 s
	100 %	300 %	10 s

Table 2 gives rated current values for semiconductor converters in per cent of rated direct current for non-repetitive load duty as defined in 3.5.5 and figure 8.

NOTE - If two sets of values are specified for any duty class, both apply.

5 Tests for thyristor assemblies

All tests shall be conducted according to IEC 146, except for the temperature-rise test for which a converter intermittent load duty class cannot be applied or adapted. In this case, the temperature-rise test should be performed using an equivalent repetitive load duty (see 3.5.4.2) or an equivalent non-repetitive load duty (see 3.5.5).

Annexe A (informative)

Méthode de calcul pour les courbes de cycle de charge répétitive équivalent, montrées à la figure 10

Cette annexe a été ajoutée dans un but de clarification.

Considérons le cycle de charge équivalent montré sur la figure 9. La température de jonction maximale (θ_M) pour ce cycle de charge est donnée par une équation ayant la forme:

$$\theta_M = \theta_o + f(t_p, t_s) \cdot (Q_p - Q_v) + R_{JA} Q_v$$

où

θ_o est la température du fluide de refroidissement

R_{JA} est la résistance thermique en régime établi entre la jonction semiconductrice et le fluide de refroidissement du radiateur associé

Q_p est la pertes à la jonction produites par le courant I_p

Q_v est la pertes à la jonction produites par le courant I_v

Si l'impédance thermique transitoire $c(t)$ du système de refroidissement était donnée par:

$$c(t) = R_{JA} (1 - e^{-t/T})$$

alors la fonction $f(t_p, t_s)$ serait donnée par:

$$f(t_p, t_s) = R_{JA} (1 - e^{-t_p/T}) / (1 - e^{-t_s/T})$$

Habituellement, toutefois, les relations fonctionnelles sont plus complexes que cela et des solutions numériques sont utilisées. Dans de tels cas:

$$f(t_p, t_s) = \sum_{j=0}^{\infty} [c(t_p + jt_s) - c(jt_s)]$$

Pour le modèle exponentiel donné ci-dessus:

$$f(t_p, t_s) = \sum_{j=0}^{\infty} [R_{JA} (1 - e^{-(t_p + jt_s)/T}) - R_{JA} (1 - e^{-jt_s/T})]$$

En pratique la limite supérieure de la somme peut être remplacée par K , lorsque K est suffisamment grand pour fournir la précision de calcul désirée.

Les pertes maximales crêtes à la jonction Q_{PM} admissibles pour une température de jonction limite donnée θ^* et une température assignée maximale du fluide de refroidissement θ_o^* sont alors données par:

$$Q_{PM} = [(\theta^* - \theta_o^*) / f(t_p, t_s)] + Q_v [1 - R_{JA} / f(t_p, t_s)]$$

Annex A (informative)

Calculation method for equivalent repetitive load duty curves shown in figure 10

This annex has been added for clarification purposes.

Consider the equivalent repetitive load duty cycle shown in figure 9. The maximum junction temperature (θ_M) for this load duty is given by an equation having the form:

$$\theta_M = \theta_o + f(t_p, t_s) \cdot (Q_p - Q_v) + R_{JA} Q_v$$

where

θ_o is the temperature of the cooling medium

R_{JA} is the steady-state thermal resistance between the semiconductor junction and the cooling medium of the associated heat sink

Q_p is the junction heat loss produced by the current I_p

Q_v is the junction heat loss produced by the current I_v

If the transient thermal impedance $c(t)$ of the cooling system were given by:

$$c(t) = R_{JA} (1 - e^{-t/T})$$

then the function $f(t_p, t_s)$ is given by:

$$f(t_p, t_s) = R_{JA} (1 - e^{-t_p/T}) / (1 - e^{-t_s/T})$$

Usually, however, the functional form is more complicated than this and numerical solutions are used. In such cases:

$$f(t_p, t_s) = \sum_{j=0}^{\infty} [c(t_p + jt_s) - c(jt_s)]$$

For the exponential case given above:

$$f(t_p, t_s) = \sum_{j=0}^{\infty} [R_{JA}(1 - e^{-(t_p + jt_s)/T}) - R_{JA}(1 - e^{-jt_s/T})]$$

In practice, the upper limit of the summation can be replaced by K , where K is sufficiently great to provide the desired calculation accuracy.

The maximum peak junction power loss Q_{PM} allowed for a given rated junction temperature θ^* and a maximum rated ambient cooling temperature θ_o^* is then given by:

$$Q_{PM} = [(\theta^* - \theta_o^*) / f(t_p, t_s)] + Q_v [1 - R_{JA} / f(t_p, t_s)]$$

Il est commode de définir une perte permanente nominale Q^* par l'expression:

$$Q^* = (\theta^* - \theta_o^*) / R_{JA}$$

alors

$$\bar{Q}_{PM} = \bar{Q}_{PMO} - \bar{Q}_V (\bar{Q}_{PMO} - 1)$$

où

$$\bar{Q}_p = Q_p / Q^*$$

$$\bar{Q}_V = Q_V / Q^*$$

$$\bar{Q}_{PMO} = R_{JA} / f(t_p, t_s)$$

La relation ci-dessus a une forme particulièrement simple, mais il serait beaucoup plus utile de l'exprimer en termes de courant du convertisseur, plutôt que de pertes des semi-conducteurs.

Comme le montre la figure A.1, les pertes à la jonction Q sont une fonction $Q(I)$ du courant du convertisseur et sont déterminées par la construction du groupe convertisseur. La fonction inverse peut être représentée par:

$$I = I(Q)$$

Alors, pour des valeurs données de t_p et t_s :

$$Q_{PMO} = [R_{JA} / f(t_p, t_s)] Q^*$$

$$I_{PMO} = I(Q_{PMO})$$

$$\bar{I}_{PMO} = I_{PMO} / I_{dN}$$

En utilisant ces relations, les courbes du côté gauche de la figure 10 peuvent être tracées. Alors, I_{PMO} et I_V étant donnés:

$$\bar{Q}_{PMO} = Q(I_{PMO}) / Q^*$$

$$\bar{Q}_V = Q(I_V) / Q^*$$

$$Q_{PM} = [\bar{Q}_{PMO} - \bar{Q}_V (\bar{Q}_{PMO} - 1)] Q^*$$

$$\bar{I}_{PM} = I(Q_{PM}) / I_{dN}$$

En utilisant ces relations, les courbes du côté gauche de la figure 10 peuvent être tracées.

En pratique, il est habituellement plus commode et utile, en particulier pour 3.5.4.2, d'évaluer les pertes de puissance au moyen d'une expression quadratique limite ayant la forme:

$$\bar{Q} = aI + bI^2$$

It will be convenient to define a rated continuous power loss Q^* by the expression:

$$Q^* = (\theta^* - \theta_o^*) / R_{JA}$$

then

$$\bar{Q}_{PM} = \bar{Q}_{PMO} - \bar{Q}_V (\bar{Q}_{PMO} - 1)$$

where

$$\bar{Q}_p = Q_p / Q^*$$

$$\bar{Q}_V = Q_V / Q^*$$

$$\bar{Q}_{PMO} = R_{JA} / f(t_p, t_s).$$

The above relation has a particularly simple form but it would be much more useful if it were expressed in terms of converter current rather than semiconductor power loss.

As shown in figure A.1, the junction power loss Q is a function of the converter current I , i.e. $Q = Q(I)$, and is determined by the design of the converter equipment. The inverse function can be represented by:

$$I = I(Q)$$

Thus, for given values of t_p and t_s :

$$Q_{PMO} = [R_{JA} / f(t_p, t_s)] Q^*$$

$$I_{PMO} = I(Q_{PMO})$$

$$\bar{I}_{PMO} = I_{PMO} / I_{dN}$$

Using these relations, the curves on the left-hand side of figure 10 can be generated. Then, given I_{PMO} and I_V :

$$\bar{Q}_{PMO} = Q(I_{PMO}) / Q^*$$

$$\bar{Q}_V = Q(I_V) / Q^*$$

$$Q_{PM} = [\bar{Q}_{PMO} - \bar{Q}_V (\bar{Q}_{PMO} - 1)] Q^*$$

$$\bar{I}_{PM} = I(Q_{PM}) / I_{dN}$$

Using these relations, the curves on the right-hand side of figure 10 can be generated.

In practice, it is usually more convenient and useful, particularly for the purpose of 3.5.4.2, to approximate the power loss by means of a bounding quadratic expression having the form:

$$\bar{Q} = aI + bI^2$$

ou

$$\bar{Q} = A (\bar{I} + r_N \bar{I}^2)$$

où

$$A = a I_{dN} / Q^*$$

$$r_N = b I_{dN} / a$$

ou, équivalent dans la plupart des cas,

$$r_N = R_o I_{dN} / V_o$$

où R_o et V_o ont été définis au tableau 1. Il est quelquefois plus commode de travailler directement avec des valeurs réduites. La fonction inverse est alors donnée par:

$$\bar{I} = [(1 + 4 r_N \bar{Q} / A)^{1/2} - 1] / 2 r_N$$

Les courbes de la figure 10 devraient spécifier le courant de base de valeur réduite I_{dN} , le facteur de pertes r_N et la température d'entrée du fluide de refroidissement θ_o^* qui sont utilisés pour leur établissement. Bien que $f(t_p, t_s)$, A , R_{JA} et θ^* soient aussi nécessaires à leur établissement, leur connaissance n'est pas nécessaire à l'utilisateur pour le système de définition des valeurs assignées énoncé dans la présente norme.

Par exemple, soit:

$$Q = 0,4 I + 0,0004 I^2$$

$$I_{dN} = 500 \text{ AMPS}$$

$$f(t_p, t_s) = R_{JA} (1 - e^{-t_p/T}) / (1 - e^{-t_s/T})$$

$$R_{JA} = 0,20923$$

$$T = 50,0 \text{ s}$$

$$\theta_o^* = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta^* = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

d'où

$$r_N = 0,5$$

$$Q^* = 406,25 \text{ W}$$

$$A = 0,49231$$

$$\bar{Q} = 0,49231 (\bar{I} + 0,5 \bar{I}^2)$$

$$\bar{I} = [(1 + 4,06248 \bar{Q})^{1/2} - 1]$$

$$\bar{Q}_{PMO} = (1 - e^{-t_s/50}) / (1 - e^{-t_p/50})$$

$$\bar{I}_{PMO} = [(1 + 4,06248 \bar{Q}_{PMO})^{1/2} - 1]$$

or

$$\bar{Q} = A (\bar{I} + r_N \bar{I}^2)$$

where

$$A = a I_{dN} / Q^*$$

$$r_N = b I_{dN} / a$$

or, equivalently in most cases,

$$r_N = R_o I_{dN} / V_o$$

where R_o and V_o have been defined in table 1. It is somewhat more convenient to work directly with per-unit values. The inverse function is then given by:

$$\bar{I} = [(1 + 4 r_N \bar{Q} / A)^{1/2} - 1] / 2 r_N$$

The curves of figure 10 should specify the per-unit base current I_{dN} , the power loss factor r_N and the incoming temperature of the cooling fluid θ_o^* that are used in their construction. Although $f(t_p, t_s)$, A , R_{JA} and θ^* are also required in that construction, these need not be known to the user for the system of ratings presented in this standard.

As an example, let:

$$Q = 0,4 I + 0,0004 I^2$$

$$I_{dN} = 500 \text{ AMPS}$$

$$f(t_p, t_s) = R_{JA} (1 - e^{-t_p/T}) / (1 - e^{-t_s/T})$$

$$R_{JA} = 0,20923$$

$$T = 50,0 \text{ s}$$

$$\theta_o^* = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta^* = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

then

$$r_N = 0,5$$

$$Q^* = 406,25 \text{ W}$$

$$A = 0,49231$$

$$\bar{Q} = 0,49231 (\bar{I} + 0,5 \bar{I}^2)$$

$$\bar{I} = [(1 + 4,06248 \bar{Q})^{1/2} - 1]$$

$$\bar{Q}_{PMO} = (1 - e^{-t_s/50}) / (1 - e^{-t_p/50})$$

$$\bar{I}_{PMO} = [(1 + 4,06248 \bar{Q}_{PMO})^{1/2} - 1]$$

Les familles de courbes de cette relation sont tracées à gauche de la figure 10.

Pour toute valeur donnée $\bar{T}_v$,

$$\bar{Q}_v = 0,49231 (\bar{T}_v + 0,5 \bar{T}_v^2)$$

et pour toute valeur donnée $\bar{T}_{PMO}$,

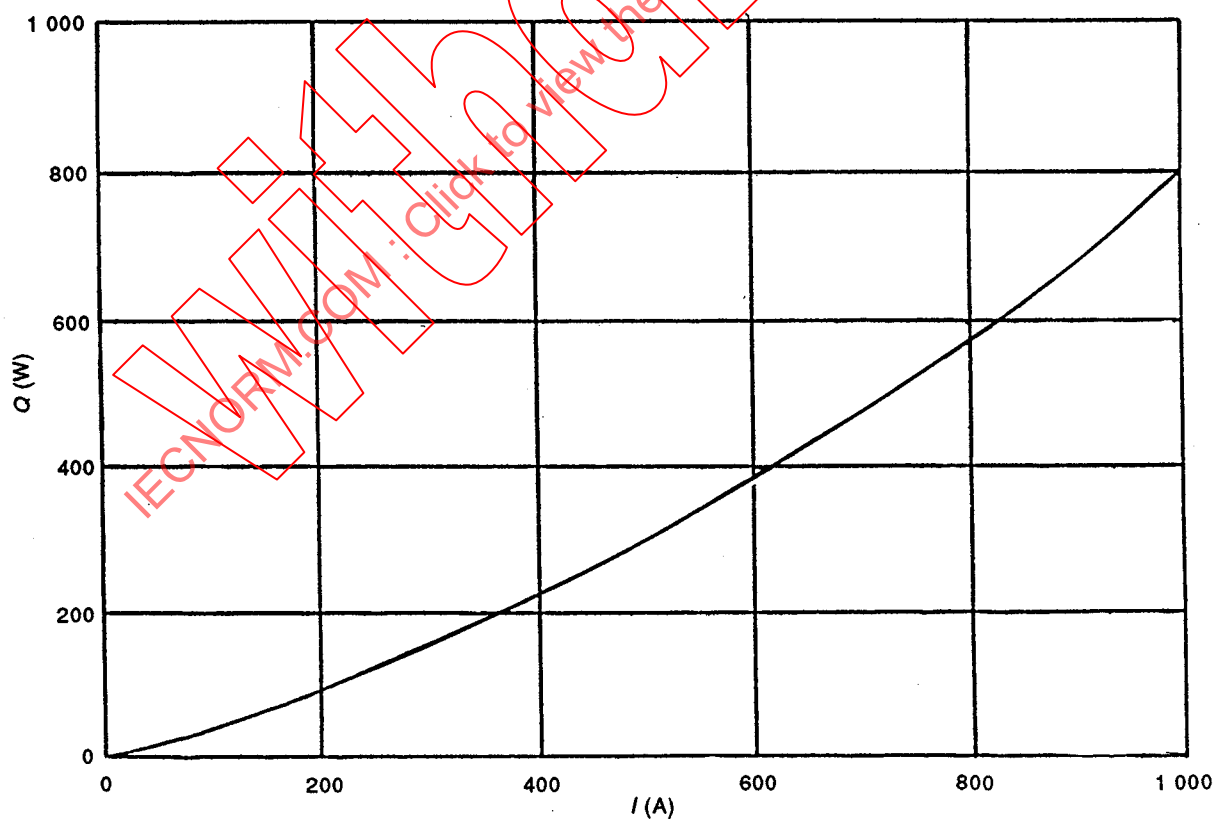
$$\bar{Q}_{PMO} = 0,49231 (\bar{T}_{PMO} + 0,5 \bar{T}_{PMO}^2)$$

Il s'ensuit que:

$$\bar{Q}_{PM} = \bar{Q}_{PMO} - \bar{Q}_v (\bar{Q}_{PMO} - 1)$$

$$\bar{T}_{PM} = [(1 + 4,06248 \bar{Q}_{PM})^{1/2} - 1]$$

Les familles de courbes de cette relation sont tracées à droite de la figure 10.



CEI 186/92

Figure A.1 – Pertes à la jonction semiconductrice en fonction du courant

The family of curves of this relation is shown on the left-hand side of figure 10.

For any given $\bar{T}_v$,

$$\bar{Q}_v = 0,49231 (\bar{T}_v + 0,5 \bar{T}_v^2)$$

and for any given $\bar{T}_{PMO}$,

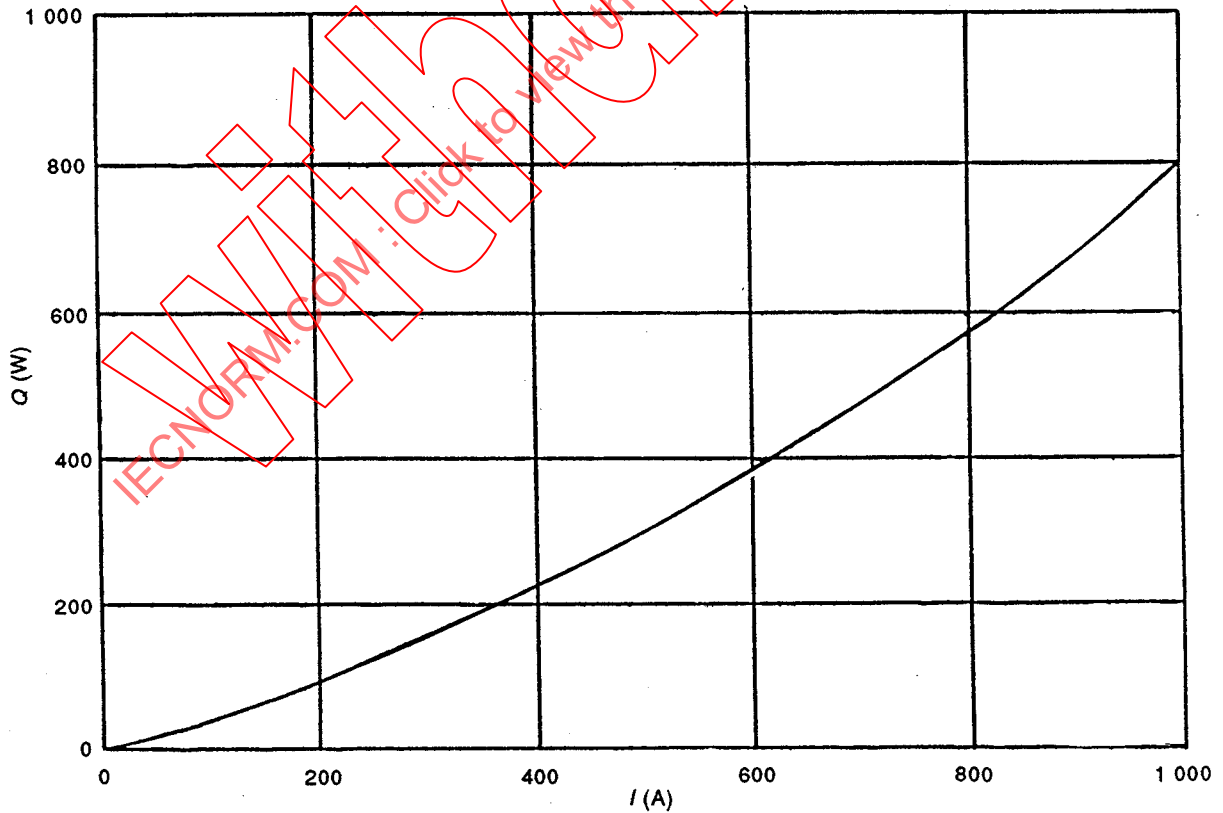
$$\bar{Q}_{PMO} = 0,49231 (\bar{T}_{PMO} + 0,5 \bar{T}_{PMO}^2)$$

It then follows that:

$$\bar{Q}_{PM} = \bar{Q}_{PMO} - \bar{Q}_v (\bar{Q}_{PMO} - 1)$$

$$\bar{T}_{PM} = [(1 + 4,06248 \bar{Q}_{PM})^{1/2} - 1]$$

The family of curves of this relation is shown on the right-hand side of figure 10.



IEC 186/92

Figure A.1 – Heat loss as a function of current

Annexe B (informative)

Base de la méthode du cycle de charge répétitive équivalent

Cette annexe a été ajoutée dans un but de clarification.

Le but de la définition de la capacité par le cycle de charge répétitive équivalent est de fournir à l'utilisateur un moyen relativement simple pour évaluer si un cycle de charge répétitive donné, tel que celui de la figure 7, est dans la capacité du groupe fourni. Le dimensionnement par le cycle équivalent de charge répétitive repose sur l'affirmation que cette évaluation peut être fondée seulement sur deux types de données.

- 1) Les valeurs calculées de I_p , I_s et I_m pour le cycle de charge donné, défini par

$$I_p = \text{MAX} [I_d(t)]$$

$$0 \leq t \leq t_s$$

$$I_m = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} I_d(t) dt$$

$$I_s = \left[\frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} I_d^2(t) dt \right]^{1/2}$$

$$I_v = \text{MIN} [I_d(t)] \quad 0 \leq t \leq t_s$$

où, le cycle étant répétitif de période t_s ,

$$I_d(t + t_s) = I_d(t)$$

- 2) La capacité du convertisseur est définie par une famille de courbes telles que celles qui sont montrées à la figure 10 pour un cycle de charge équivalent tel que celui qui est défini en 3.5.4.2.

Cette annexe fournit une base pour établir la validité de l'affirmation ci-dessus.

Soit les pertes thermiques à la jonction $Q_1(t)$ pour un cycle donné, comme le montre la figure B.1. Pour ce cycle:

$$Q_v = 20 \text{ W (valeur minimale);}$$

$$Q_p = 200 \text{ W (valeur crête);}$$

$$Q_m = 98 \text{ W (valeur moyenne);}$$

$$Q_s = 114 \text{ W (valeur efficace);}$$

$$t_s = 10 \text{ s (période du cycle).}$$

Annex B (informative)

Basis for the equivalent repetitive load duty method

This annex has been added for clarification purposes.

The purpose of the equivalent repetitive load duty rating is to provide a relatively simple means for a user to evaluate whether or not a given repetitive load duty cycle such as the one shown in figure 7 is within the capacity of the equipment supplied. The equivalent repetitive load duty rating is based on the assertion that this evaluation can be based solely on two sets of data:

- 1) The calculated values for I_p , I_s and I_m for the given load duty cycle as defined by,

$$I_p = \text{MAX} [I_d(t)]$$

$$0 \leq t \leq t_s$$

$$I_m = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} I_d(t) dt$$

$$I_s = \left[\frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} I_d^2(t) dt \right]^{1/2}$$

$$I_v = \text{MIN} [I_d(t)] \quad 0 \leq t \leq t_s$$

where, by the repetitive nature of the duty cycle having period t_s ,

$$I_d(t + t_s) = I_d(t)$$

- 2) The capacity of the convertor is defined by a family of curves such as the one shown in figure 10 for an equivalent load duty as defined in 3.5.4.2.

This annex provides a basis for the validity of the above assertion.

Consider the junction heat loss $Q_j(t)$ for some given duty cycle as shown in figure B.1. For this duty cycle:

- $Q_v = 20 \text{ W}$ (minimum value);
- $Q_p = 200 \text{ W}$ (peak value);
- $Q_M = 98 \text{ W}$ (mean value);
- $Q_s = 114 \text{ W}$ (r.m.s. value);
- $t_s = 10 \text{ s}$ (cycle period).