

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 411-4

Première édition – First edition
1986

Convertisseurs de puissance pour la traction

Quatrième partie: Convertisseurs directs de courant continu (hacheurs) pour le matériel roulant

Power converters for electric traction

Part 4: Direct d.c. convertors (d.c. chopper convertors) for rolling stock



© CEI 1986

Droits de reproduction réservés – Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

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

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

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

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 411-4

Première édition — First edition
1986

Convertisseurs de puissance pour la traction

Quatrième partie: Convertisseurs directs de courant continu (hacheurs) pour le matériel roulant

Power convertors for electric traction

Part 4: Direct d.c. convertors (d.c. chopper convertors) for rolling stock



© CEI 1986

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Renvoi à diverses publications de la CEI	6
3. Conditions de service	8

SECTION DEUX — DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS

4. Généralités	12
--------------------------	----

SECTION TROIS — TRANSFORMATEURS, BOBINES D'INDUCTANCE ET CONDENSATEURS POUR CONVERTISSEURS DE TRACTION

5. Généralités	12
6. Définitions relatives aux transformateurs et aux autotransformateurs	12
7. Définitions relatives aux inductances	16
8. Essais des transformateurs, autotransformateurs et inductances	16

SECTION QUATRE — GROUPES ET BLOCS CONVERTISSEURS

9. Définitions	18
10. Configurations et caractéristiques des convertisseurs directs de courant continu	30
11. Essais des convertisseurs	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

SECTION ONE — GENERAL

Clause

1. Scope	7
2. Reference to various IEC publications	7
3. Service conditions	9

SECTION TWO — SEMICONDUCTOR DEVICES

4. General	13
----------------------	----

SECTION THREE — CONVERTOR TRACTION TRANSFORMERS, REACTORS AND CAPACITORS

5. General	13
6. Definitions relating to transformers and autotransformers	13
7. Definitions relating to reactors	17
8. Tests for transformers, autotransformers and reactors	17

SECTION FOUR — CONVERTOR EQUIPMENT AND ASSEMBLIES

9. Definitions	19
10. Configurations and characteristics of direct d.c. convertors	31
11. Tests of convertors	45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS DE PUISSANCE POUR LA TRACTION**Quatrième partie: Convertisseurs directs de courant continu (hacheurs)
pour le matériel roulant**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 22D: Convertisseurs électroniques de puissance pour le matériel roulant, 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
22D(BC)19	22D(BC)20

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER CONVERTORS FOR ELECTRIC TRACTION**Part 4: Direct d.c. convertors (d.c. chopper convertors) for rolling stock**

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.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 22D: Electronic Power Convertors for Electric Rolling Stock, of IEC Technical Committee No. 22: Power Electronics.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
22D(CO)19	22D(CO)20

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

CONVERTISSEURS DE PUISSANCE POUR LA TRACTION

Quatrième partie: Convertisseurs directs de courant continu (hacheurs) pour le matériel roulant

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme est applicable aux convertisseurs directs de courant continu à semiconducteurs destinés à l'équipement de véhicules de traction alimentés en courant continu. Elle a été établie pour les convertisseurs alimentant les circuits de traction des véhicules mais peut être appliquée, en principe, aux convertisseurs destinés à l'alimentation des services auxiliaires de ces véhicules.

Note. — Pour les véhicules polycourant destinés à fonctionner à la fois en courant alternatif et en courant continu, cette norme s'applique à la partie d'équipement utilisée pour le fonctionnement à partir d'une ligne à courant continu.

2. Renvoi à diverses publications de la CEI

Les articles des publications de la CEI ci-après sont applicables aux convertisseurs faisant l'objet de cette norme pour autant qu'ils ne soient pas modifiés par les articles de la présente publication.

Publication 38 (1983): Tensions normales de la CEI.

Publication 50 (551) (1982): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 551: Electronique de puissance.

Publication 77 (1968): Règles applicables à l'appareillage électrique de traction.

Publication 146 (1973): Convertisseurs à semiconducteurs.

Publication 146-2 (1974): Deuxième partie: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs.

Publication 146-3 (1977): Troisième partie: Convertisseurs à courant continu directs à semiconducteurs (hacheurs).

Publication 165 (1973): Règles pour les essais des véhicules moteurs de traction électrique après achèvement et avant mise en service.

Publication 310 (1969): Règles applicables aux transformateurs de traction et aux inductances de traction.

Publication 411 (1973): Convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction.

Publication 411-1 (1975): Convertisseurs de puissance pour la traction. Première partie: Convertisseurs monophasés de puissance à thyristors.

Publication 411-3 (1982): Troisième partie: Convertisseurs autocommutés pour la traction monophasée.

Publication 571 (1977): Règles pour les équipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires.

Publication 631 (1978): Caractéristiques et essais des systèmes de freinage électrodynamiques et électromagnétiques.

Publication 651 (1979): Sonomètres.

POWER CONVERTORS FOR ELECTRIC TRACTION

Part 4: Direct d.c. convertors (d.c. chopper convertors) for rolling stock

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard is applicable to direct d.c. semiconductor power-convertors intended for service on rolling stock supplied with d.c. current. It has been drawn up for convertors supplying vehicle traction circuits but can be applied, in principle, to convertors for the supply to auxiliary services on these vehicles.

Note. — For multi-system vehicles which are intended for both a.c. and d.c. operation, this standard applies to that part of the equipment which is operated from a d.c. line.

2. Reference to various IEC publications

Except where modified by clauses in the present publication, clauses in the following IEC publications are applicable to the convertors covered by this standard.

Publication 38 (1983):	IEC Standard Voltages.
Publication 50 (551) (1982):	International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 551: Power Electronics.
Publication 77 (1968):	Rules for Electric Traction Equipment.
Publication 146 (1973):	Semiconductor Convertors.
Publication 146-2 (1974):	Part 2: Semiconductor Self-commutated Convertors.
Publication 146-3 (1977):	Part 3: Semiconductor Direct D.C. Convertors (D.C. Chopper Convertors).
Publication 165 (1973):	Rules for the Testing of Electric Rolling Stock on Completion of Construction and before Entry into Service.
Publication 310 (1969):	Rules for Traction Transformers and Reactors.
Publication 411 (1973):	Single-phase Traction Power Convertors.
Publication 411-1 (1975):	Power Convertors for Electric Traction. Part 1: Single-phase Power Convertors Using Thyristors.
Publication 411-3 (1982):	Part 3: Self-commutated Convertors for Single-phase Traction.
Publication 571 (1977):	Rules for Electronic Equipment Used on Rail Vehicles.
Publication 631 (1978):	Characteristics and Tests for Electrodynamic and Electro-magnetic Braking Systems.
Publication 651 (1979):	Sound Level Meters.

3. Conditions de service

3.1 Conditions normales de service

3.1.1 Altitude

En l'absence d'indication sur la hauteur au-dessus du niveau de la mer à laquelle les appareils sont appelés à fonctionner en marche normale, il est admis que cette hauteur ne doit pas dépasser 1 200 m.

3.1.2 Température

En l'absence d'indication sur les températures ambiantes auxquelles les appareils sont appelés à fonctionner normalement, il est admis que celles-ci restent comprises entre -25°C et $+40^{\circ}\text{C}$, la température moyenne annuelle n'excédant pas $+25^{\circ}\text{C}$.

3.1.3 Chocs et vibrations

En l'absence d'indication concernant les vibrations et les chocs auxquels le convertisseur et ses accessoires de montage sont susceptibles d'être soumis en service, il est admis:

- a) que les vibrations sont de forme sinusoïdale, que leur fréquence f reste comprise entre 1 Hz et 50 Hz, et que leur amplitude a , exprimée en millimètres, est donnée en fonction de f par les relations:

$$a = \frac{25}{f} \text{ pour } 1 \leq f \leq 10 \text{ Hz}$$

$$a = \frac{250}{f^2} \text{ pour } 10 \leq f \leq 50 \text{ Hz}$$

- b) que les accélérations maximales des chocs sont:

— horizontalement (dans le sens de déplacement du véhicule)	30 m/s ²
— latéralement	20 m/s ²
— verticalement	10 m/s ²

3.1.4 Nature de la charge

Etant donné que la nature de la charge peut affecter les caractéristiques de fonctionnement d'un convertisseur ou d'un élément de convertisseur, on doit toujours spécifier la nature de la charge.

Dans le cas du fonctionnement en freinage, la charge devient une source dont la caractéristique est différente de celle du réseau d'alimentation. La tension de cette source peut être plus élevée que celle du réseau.

3.1.5 Caractéristiques du réseau d'alimentation

L'utilisateur doit définir avec précision, dans l'état de connaissance qu'il a de son réseau, les conditions de travail de l'équipement en traction et en freinage électrique dont les limites peuvent être importantes, et souvent des plus importantes, pour la définition de l'appareil.

3.1.5.1 Forme d'onde de la tension de la ligne à courant continu

Il est admis que la tension côté ligne du réseau de traction est la tension continue obtenue à partir d'une tension sinusoïdale triphasée, par redressement hexaphasé en onde pleine.

L'utilisateur doit déclarer toute dérogation majeure à cette disposition, par exemple: indice de pulsation différent de 6, utilisation de redresseurs à commande de phase, présence sur le réseau de véhicules à freinage par récupération.

3. Service conditions

3.1 Usual service conditions

3.1.1 Altitude

In the absence of information on the height above sea level at which the equipment is normally to function, it is to be assumed that this height will not exceed 1 200 m.

3.1.2 Temperature

In the absence of information on the ambient temperature in which the equipment is normally to function, it is to be assumed that these lie between -25°C and $+40^{\circ}\text{C}$, with an annual average temperature not exceeding $+25^{\circ}\text{C}$.

3.1.3 Shocks and vibrations

In the absence of information concerning the degree of vibration and shock to which the convertor and its mounting arrangements are likely to be subjected in service, it is to be assumed:

- a) that the vibrations are sinusoidal, that the frequency f of vibration is between 1 Hz and 50 Hz, and that the amplitude a , expressed in millimetres is given as a function of f , by the equations:

$$a = \frac{25}{f} \text{ for } 1 \leq f \leq 10 \text{ Hz}$$

$$a = \frac{250}{f^2} \text{ for } 10 \leq f \leq 50 \text{ Hz}$$

- b) that the maximum shock accelerations are:

— horizontally (in the direction of motion of the vehicle)	30 m/s ²
— transversely	20 m/s ²
— vertically	10 m/s ²

3.1.4 Nature of load

In view of the fact that the nature of the load may affect the operating characteristics of a convertor or convertor component, the nature of the load shall always be specified.

In the case of braking operation, the load becomes a source, the characteristic of which is different from that of the supply system. The voltage of this source may be higher than the supply voltage.

3.1.5 Supply system characteristics

The user, in so far as he has adequate knowledge of the system, shall define exactly the operative conditions of the equipment in motoring and braking operation, the limits of which may be important and often the most important as regards the design of the equipment.

3.1.5.1 Waveform of the d.c. line voltage

It will be assumed that the line side voltage of the traction system is the d.c. voltage converted from a three-phase sinusoidal voltage by full wave six-pulse rectification.

The user shall state any major deviation from this arrangement, for example pulse number other than 6, use of phase controlled rectification, presence of regeneratively braked vehicles on the system.

3.1.5.2 Limitations du courant d'entrée

Toute limitation du courant d'entrée à l'état permanent doit être spécifiée par l'utilisateur.

L'utilisateur doit aussi indiquer la capacité en courant de courte durée du réseau d'alimentation et la nature du système de protection.

3.1.5.3 Variations de la tension d'alimentation

Conformément à la Publication 38 de la CEI, il est admis que la tension de la ligne se maintient dans les limites suivantes:

TABLEAU I
Tensions d'alimentation

	Tensions d'alimentation		
	La plus basse (V)	Nominale (U_{LN}) (V)	La plus élevée (V)
Réseaux à courant continu	400	600 ¹⁾	720
	500	750	900
	1 000	1 500	1 800
	2 000	3 000	3 600 ²⁾

¹⁾ Cette valeur doit être considérée comme non préférentielle et il est recommandé de ne pas l'utiliser pour les nouveaux réseaux à établir à l'avenir.

²⁾ Dans certains pays européens, cette tension peut atteindre 4 000 V. L'équipement électrique des véhicules circulant en service international dans ces pays doit pouvoir supporter cette tension maximale absolue durant de brèves périodes pouvant aller jusqu'à 5 min.

Dans le cas d'une alimentation par batterie, les limites de la tension de la batterie doivent être précisées.

Note. — Des variations brusques de tension peuvent se produire dans les limites indiquées ci-dessus.

3.1.5.4 Surtensions d'alimentation

Des surtensions supplémentaires de courte durée, dues aux influences atmosphériques, à des commutations de circuits ou à des freinages par récupération, peuvent se produire.

Note. — Pour spécification supplémentaire, voir paragraphe 10.3.3.

3.1.5.5 Energie transitoire d'alimentation

La quantité d'énergie disponible, en provenance de l'alimentation, qui peut traverser le convertisseur et due à un régime transitoire, peut être spécifiée par l'utilisateur.

Note. — Les plus hautes valeurs de l'énergie transitoire d'alimentation peuvent résulter de la coupure d'un court-circuit sur un véhicule voisin.

3.1.5.6 Inductance et résistance du réseau

Puisque l'inductance et la résistance du réseau influent sur les caractéristiques de fonctionnement d'un convertisseur et varient avec la position du véhicule, les valeurs maximales et

3.1.5.2 Input current limitations

Any limitation of the steady-state input current shall be stated by the user.

The user shall also state the short-time current capability of the supply system and the nature of the protection network.

3.1.5.3 Supply voltage variations

In accordance with IEC Publication 38 the d.c. line voltage is assumed to be maintained between the following limits:

TABLE I
Supply voltages

	Supply voltages		
	Lowest	Nominal (U_{LN})	Highest
	(V)	(V)	(V)
D.C. systems	400	600 ¹⁾	720
	500	750	900
	1 000	1 500	1 800
	2 000	3 000	3 600 ²⁾

¹⁾ This value should not be considered as the preferred value and it is recommended that it should not be used for new systems to be constructed in future.

²⁾ In certain European countries, this voltage may reach 4 000 V. The electrical equipment of vehicles operating in international services in these countries shall be capable of withstanding this absolute maximal voltage for brief periods of up to 5 min.

In the case of supply by battery, the limits of battery voltage shall be indicated.

Note. — Step variations of voltage within these limits may occur.

3.1.5.4 Supply overvoltages

Additional short-time overvoltages, due to atmospheric influences, switching operations or regenerative braking, may occur.

Note. — For further specification see Sub-clause 10.3.3.

3.1.5.5 Supply transient energy

The amount of energy available from the supply, which may flow into the convertor due to a transient rating, may be specified by the user.

Note. — The highest values of the supply transient energy may result from the interruption of a short-circuit in a nearby vehicle.

3.1.5.6 System inductance and resistance

Since the system inductance and resistance affects the performance characteristics of a convertor and varies with the position of the vehicle, the maximum and minimum values of

minimales de l'inductance et de la résistance, y compris l'impédance interne de la source, doivent être spécifiées par l'utilisateur. Il y a lieu de tenir compte également de la présence d'autres véhicules équipés de convertisseurs.

Note. — Ces valeurs ne peuvent pas être utilisées pour des études d'interférence (voir paragraphe 10.3.5).

3.2 Conditions spéciales

Des dispositions particulières, fixées par accord entre utilisateur et constructeur, doivent être prises lorsque les conditions diffèrent de celles qui sont mentionnées dans les paragraphes précédents, par exemple:

- a) altitude supérieure à 1 200 m;
- b) température ambiante supérieure à 40 °C;
- c) température minimale inférieure à -25 °C;
- d) température moyenne élevée, conjuguée à une forte humidité de l'air;
- e) pluies torrentielles, tempêtes de sable ou de neige, poussières anormalement conductrices, salinité anormale;
- f) variations de la tension délivrée par la ligne d'alimentation excédant les valeurs données précédemment, par exemple dans le cas de réseaux appliquant le freinage par récupération d'énergie;
- g) variations soudaines de la température ambiante de 15 °C environ pendant 1 min ou 2 min, dues par exemple aux franchissements de tunnels;
- h) conditions causant de fréquentes interruptions entre la ligne de contact et le hacheur ou de fréquents courts-circuits sur la ligne, par exemple formation de glace sur la ligne de contact, parcours de dégivrage.

SECTION DEUX — DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS

4. Généralités

Les dispositifs à semiconducteurs du hacheur doivent répondre aux conditions spécifiées dans la Publication 146 de la CEI. Les composants de puissance, y compris les dispositifs de refroidissement, doivent répondre également aux conditions spécifiées au paragraphe 3.1.3.

SECTION TROIS — TRANSFORMATEURS, BOBINES D'INDUCTANCE ET CONDENSATEURS POUR CONVERTISSEURS DE TRACTION

5. Généralités

Les spécifications ci-après sont applicables aux transformateurs, aux bobines d'inductance et aux condensateurs utilisés dans les convertisseurs directs de courant continu. Sont également applicables, dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec les présentes règles, celles qui sont contenues dans la Publication 310 de la CEI.

6. Définitions relatives aux transformateurs et aux autotransformateurs

6.1 Définitions et classification des transformateurs et des autotransformateurs

Selon leur utilisation, les transformateurs et les autotransformateurs utilisés dans les hacheurs destinés à la traction peuvent être définis et classés de la manière suivante:

inductance and resistance including the internal impedance of the source shall be specified by the user. The presence of other vehicles equipped with convertors should also be taken into account.

Note. — These values cannot be used for interference studies (see Sub-clause 10.3.5).

3.2 *Special conditions*

Special arrangements shall be agreed upon between user and manufacturer when conditions differ from those mentioned in the preceding sub-clauses, for example:

- a) altitude above 1 200 m;
- b) ambient temperature above 40 °C;
- c) minimum temperature below –25 °C;
- d) high average temperature plus high air humidity;
- e) torrential rains, sand or snow storms, abnormal conducting dust, abnormal saltiness;
- f) variations of the supply line voltage exceeding the values given above, for example, in the case of systems employing regenerative braking;
- g) sudden ambient temperature variations of about 15 °C, for 1 min or 2 min, for example due to railway tunnels;
- h) conditions bringing about frequent interruptions between contact line and chopper or frequent short circuits on the contact line, for example formation of ice on the contact line, de-icing runs.

SECTION TWO — SEMICONDUCTOR DEVICES

4. **General**

The semiconductor devices of the chopper equipment shall meet the requirements of IEC Publication 146. Power components including heatsinks shall also meet the requirements of Sub-clause 3.1.3.

SECTION THREE — CONVERTOR TRACTION TRANSFORMERS, REACTORS AND CAPACITORS

5. **General**

The following specifications apply to traction transformers, reactors and capacitors used for direct d.c. convertors. The rules specified in IEC Publication 310 shall apply also unless they are in contradiction with the rules given in this standard.

6. **Definitions relating to transformers and autotransformers**

6.1 *Definitions and classification of transformers and autotransformers*

Depending on their utilization, transformers and autotransformers employed in traction choppers can be defined and classified as follows:

6.1.1 *Transformateur (ou autotransformateur) de commutation*

Transformateur utilisé pour charger la capacité de commutation lorsque le thyristor principal est amorcé.

6.1.2 *Transformateur (ou autotransformateur) à récupération d'énergie*

Transformateur utilisé pour renvoyer à la source l'énergie emmagasinée dans l'inductance de commutation.

6.1.3 *Transformateur à impulsion de courant continu*

Transformateur utilisé pour produire, à partir d'un circuit à courant continu, une énergie dans un autre circuit au moyen d'impulsions de courant.

6.1.4 *Transformateur interphase*

Dispositif électromagnétique utilisé pour assurer le fonctionnement en parallèle de deux ou de plusieurs groupes de commutation présentant entre eux une différence de phase à travers des couplages inductifs entre les enroulements placés sur le même noyau.

6.1.5 *Transformateur diviseur de courant*

Transformateur utilisé pour équilibrer les courants de bras connectés en parallèle.

6.2 *Définitions des valeurs assignées des transformateurs et des autotransformateurs*

Le régime d'un transformateur est son régime continu.

6.2.1 *Courant assigné*

Le courant assigné d'un enroulement est la valeur efficace du courant qu'un enroulement peut supporter continuellement sans que son échauffement dépasse la limite fixée pour la classe d'isolement du matériau utilisé pour cet enroulement.

6.2.2 *Tension primaire assignée*

Valeur efficace appliquée, dans les conditions normales, à l'ensemble de l'enroulement primaire. La forme d'onde exacte du courant et de la tension ainsi que la fréquence de fonctionnement doivent être spécifiées par le constructeur du hacheur au constructeur du transformateur.

6.2.3 *Tension secondaire assignée*

Valeur efficace à vide de la tension secondaire lorsque l'enroulement primaire est alimenté à la tension assignée et à la fréquence assignée.

6.2.4 *Tension magnétisante assignée*

Valeur moyenne redressée maximale de la tension primaire à la fréquence assignée pour laquelle le transformateur ou l'autotransformateur est défini.

6.2.5 *Puissance assignée*

La puissance assignée de chacun des enroulements du transformateur est, par définition, le produit de la tension assignée et du courant assigné de cet enroulement.

6.3 *Pertes et rendement*

La méthode de spécification des pertes et du rendement doit être fixée par accord entre utilisateur et constructeur en tenant compte des formes d'onde particulières des courants et des tensions.

6.4 *Inductance de fuite et capacité parasite*

L'inductance de fuite et la capacité parasite admissible doivent être indiquées par le constructeur du hacheur au constructeur du transformateur.

6.1.1 *Commutation transformer (or autotransformer)*

A transformer used to charge the commutation capacitor when the main thyristor is turned on.

6.1.2 *Energy regenerative transformer (or autotransformer)*

A transformer used to discharge energy stored in the commutating reactor by returning it to the supply.

6.1.3 *D.C. pulse transformer*

A transformer used to provide a flow of energy from one d.c. circuit to another one by means of current pulses.

6.1.4 *Interphase transformer*

An electromagnetic device enabling the operation in parallel of two or more commutating groups not in phase through inductive coupling between the windings placed on the same core.

6.1.5 *Current divider transformer*

A transformer used to balance the currents of parallel connected branches.

6.2 *Definitions of rated values of transformers and autotransformers*

The rating of a transformer is its continuous rating.

6.2.1 *Rated current*

The rated current of a winding is the r.m.s. current which that winding may withstand continuously without its temperature rise exceeding the rated limit for the class of insulation material used for the winding.

6.2.2 *Rated primary voltage*

The rated primary voltage is the r.m.s. value applied in normal conditions to the whole primary winding. The exact waveforms of current and voltage as well as the operating frequency should be specified by the manufacturer of the chopper to the manufacturer of the transformer.

6.2.3 *Rated secondary voltage*

The rated secondary voltage is the r.m.s. no load secondary voltage when the primary winding is supplied at rated voltage and rated frequency.

6.2.4 *Rated magnetizing voltage*

The maximum rectified mean value of the primary voltage at rated frequency for which the transformer or the autotransformer is designed.

6.2.5 *Rated power*

The rated power of each transformer winding is defined as the product of the rated voltage and the rated current of that winding.

6.3 *Losses and efficiency*

The method of specifying the losses and efficiency shall be agreed upon between user and manufacturer taking into account the specific waveforms of the currents and voltages.

6.4 *Leakage inductance and stray capacitance*

The leakage inductance and the stray capacitance permitted shall be indicated by the manufacturer of the chopper to the manufacturer of the transformer.

7. Définitions relatives aux inductances

7.1 Définitions et classification des inductances

Selon leur utilisation, les inductances utilisées dans les hacheurs destinés à la traction peuvent être définies et classées comme suit:

7.1.1 Inductance de limitation du taux d'accroissement du courant

Inductance utilisée pour protéger les thyristors contre un taux d'accroissement trop élevé du courant d'anode.

7.1.2 Inductance de lissage

Inductance utilisée pour réduire l'ondulation du courant.

7.1.3 Inductance d'équilibrage de courant

Inductance utilisée pour équilibrer les courants dans les différentes phases d'un hacheur à phases multiples ou dans les différents bras de thyristors montés en parallèle dans la même section de convertisseur.

7.1.4 Inductance d'oscillation

Inductance utilisée dans les circuits oscillants normalement associés à la commutation dans le hacheur.

7.1.5 Inductance de filtre

Inductance utilisée avec la capacité de filtrage pour découpler le hacheur de l'alimentation.

7.2 Définitions relatives au régime des inductances

7.2.1 Courant assigné

Le courant assigné d'une inductance est la valeur efficace du courant que l'inductance peut supporter continuellement sans que son échauffement dépasse la limite fixée pour la classe d'isolement du matériau utilisé.

7.2.2 Inductance au régime normal

Les valeurs de l'inductance de lissage dépendent de la classe d'utilisation; elles sont définies en fonction de la nature et de la valeur du courant utilisé pour la mesure ainsi que de la forme d'onde, de la valeur et de la fréquence du courant d'alimentation.

7.2.3 Saturation

La spécification des inductances à noyau de fer ou similaires doit indiquer la valeur à ne pas dépasser de l'intégrale.

$$\Delta\psi = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot dt$$

où:

$u(t)$ = tension aux bornes de l'inductance

t_1, t_2 = temps tels que la valeur de $\Delta\psi$ soit maximale.

Pour les inductances de lissage à courant continu, $\Delta\psi$ doit être spécifié pour au moins deux valeurs moyennes différentes de courant.

8. Essais des transformateurs, autotransformateurs et inductances

8.1 Essais des transformateurs et des autotransformateurs

Les essais spécifiés dans la Publication 310 de la CEI sont en général applicables.

Toutefois, la forme d'onde des courants et des tensions à appliquer au transformateur (ou à l'autotransformateur) en essai doit être fixée par accord entre le constructeur du hacheur et le constructeur du transformateur.

7. Definitions relating to reactors

7.1 Definitions and classification of reactors

Depending on their utilization, reactors employed in traction choppers can be defined and classified as follows:

7.1.1 Reactor to limit rate of rise of current

A reactor used to protect thyristors against an excessive rate of rise of anode current.

7.1.2 Smoothing reactor

A reactor used for reducing the amplitude of the current ripple.

7.1.3 Current balancing reactor

A reactor used to balance the currents in the different phases of a multiple phase chopper or in the different arms of parallel connected thyristors of the same convertor section.

7.1.4 Oscillating reactor

A reactor used for oscillating circuits normally associated with the commutation in the chopper.

7.1.5 Filter reactor

A reactor used with the filter capacitor to decouple the chopper from the supply.

7.2 Definitions relating to rating of reactors

7.2.1 Rated current

The rated current of a reactor is the r.m.s. current which the reactor may withstand continuously without its temperature rise exceeding the rated limit for the class of insulation material used for it.

7.2.2 Inductance at normal rating

The values of smoothing reactor inductance depend on the utilization class; they shall be defined with reference to the nature and the value of the current used to make the measurement and the waveform, the value and frequency of the power supply.

7.2.3 Saturation

The specification of iron-cored or similar reactors shall indicate the value of the integral which is not to be exceeded.

$$\Delta\psi = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot dt$$

where:

$u(t)$ = voltage across the reactor terminals

t_1, t_2 = times which give the maximum value of $\Delta\psi$

For d.c. smoothing reactor $\Delta\psi$ shall be specified for at least two different mean values of the current.

8. Tests for transformers, autotransformers and reactors

8.1 Transformer and autotransformer tests

In general the tests specified in IEC Publication 310 apply.

However, the waveform of the currents and voltages to be applied to the transformer (or autotransformer) under test, shall be agreed upon between the manufacturer of the chopper and the manufacturer of the transformer.

Les articles 16 et 17 de la Publication 310 de la CEI doivent faire l'objet d'un accord particulier entre les constructeurs du hacheur et du transformateur; les articles 21 et 23 sont seulement applicables aux essais de type.

Les deux essais ci-après constituent des essais de série:

- mesure de l'inductance de l'enroulement primaire au courant assigné;
- mesure de l'impédance avec enroulement secondaire mis en court-circuit, l'enroulement primaire étant alimenté avec le courant assigné et à la fréquence assignée.

8.2 Essais des inductances

Les essais définis aux articles 28 à 36 de la Publication 310 de la CEI sont applicables aux inductances utilisées dans les hacheurs de puissance pour la traction.

La forme d'onde des courants et des tensions à appliquer à l'inductance en essai doit faire l'objet d'accord entre le constructeur du hacheur et le constructeur de l'inductance.

8.3 Essais d'échauffement

Ces essais ne peuvent être exécutés que lorsque le transformateur, l'autotransformateur ou l'inductance sont installés dans le hacheur auquel ils sont destinés ou dans un appareil spécialement conçu à cet usage.

Certaines inductances (et souvent certains transformateurs) ont une résistance ohmique trop faible pour permettre une mesure précise de l'échauffement par la méthode de variation de résistance. Dans ce cas, la mesure de l'échauffement doit être faite en utilisant un ou plusieurs couples thermoélectriques.

Note. — Les essais d'échauffement des inductances sont normalement effectués en liaison avec l'essai d'échauffement du convertisseur, voir paragraphe 11.4.4.

SECTION QUATRE — GROUPES ET BLOCS CONVERTISSEURS

9. Définitions

Sauf spécification contraire dans la présente section, les définitions générales, données dans les publications de la CEI citées à l'article 2, sont applicables aux convertisseurs visés par la présente norme.

9.1 Termes relatifs aux convertisseurs

9.1.1 *Convertisseur (électronique) (de puissance)* (VEI 551-02-01)

Ensemble fonctionnel assurant une conversion électronique de puissance, comprenant un ou plusieurs éléments de valve électronique (VEI 551-03-01) et éventuellement des éléments associés tels que transformateurs, filtres et accessoires.

9.1.2 *Convertisseur autocommuté*

Convertisseur dans lequel les tensions de commutation sont délivrées par des composants inclus dans le convertisseur.

Note. — En font partie, par exemple, les convertisseurs dans lesquels les tensions de commutation sont créées dans les dispositifs à semiconducteurs (comme dans les transistors et dans les thyristors qui peuvent être coupés par la gâchette) ou dans lesquels ces tensions sont produites à l'extérieur des dispositifs à semiconducteurs, au moyen de condensateurs.

9.1.3 *Hacheur convertisseur direct de courant continu* (VEI 551-02-12)

Convertisseur de courant continu ne comprenant pas de circuit intermédiaire à courant alternatif.

9.1.4 *Section de convertisseur direct de courant continu*

Plus petite partie du circuit de puissance d'un convertisseur direct de courant continu qui peut fonctionner en convertisseur direct de courant continu.

Clauses 16 and 17 of IEC Publication 310 shall be the subject of a special agreement between chopper and transformer manufacturers; Clauses 21 and 23 apply only to type tests.

The two following tests are routine tests:

- measurement of the inductance of the primary winding at rated current,
- measurement of the impedance with a secondary winding short-circuited when supplied with rated primary current at rated frequency.

8.2 Reactor tests

The tests defined in Clauses 28 to 36 of IEC Publication 310 apply to reactors used in traction power choppers.

The waveform of currents and voltages to be applied to the reactor under test shall be agreed upon between the manufacturer of the chopper and the manufacturer of the reactor.

8.3 Temperature-rise tests

These tests can be performed only when the transformer, the autotransformer and the reactor are fitted in the chopper for which they have been designed or in an apparatus specially designed for the purpose.

Some reactors (and even some transformers) have an ohmic resistance too small to permit accurate measurement of the temperature-rise by the resistance variation. In this case the temperature-rise measurement shall be made using one or more thermocouples.

Note. — The temperature-rise tests of reactors are normally performed in connection with the temperature-rise test of the convertor, see Sub-clause 11.4.4.

SECTION FOUR — CONVERTOR EQUIPMENT AND ASSEMBLIES

9. Definitions

Unless otherwise specified in this section, the general definitions given in the IEC publications mentioned in Clause 2 are valid for the convertors covered by this standard.

9.1 Convertor terms

9.1.1 (Electronic) (power) convertor (IEV 551-02-01)

An operative unit for electronic power conversion comprising one or more electronic valve devices (IEV 551-03-01), transformers and filters if necessary and auxiliaries if any.

9.1.2 Self-commutated convertor

A convertor in which the commutating voltages are supplied by components within the convertor.

Note. — This includes, for example, convertors in which the commutating voltages are built up within the semiconductor devices (as in transistors and in thyristors which can be turned off by the gate) or in which they are produced outside the semiconductor devices by means of capacitors.

9.1.3 Direct d.c. convertor – d.c. chopper convertor (IEV 551-02-12)

A d.c. convertor without an intermediate a.c. link.

9.1.4 Direct d.c. convertor section

The smallest portion of the power circuit of a direct d.c. convertor which can operate as a direct d.c. convertor.