

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	400 500 1 000 2 000	600 ¹⁾ 750 1 500 3 000	720 900 1 800 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 Énergie 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 (V)	Nominal (U_{LN}) (V)	Highest (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 converter 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.

9.1.5 *Groupe de convertisseur*

Groupe de sections de convertisseurs fonctionnant en parallèle avec mêmes fréquence, phase et largeur d'impulsion.

9.1.6 *Convertisseur direct de courant continu non réversible*

Convertisseur direct de courant continu dans lequel la circulation de la puissance n'a qu'un seul sens.

9.1.7 *Convertisseur direct de courant continu réversible*

Convertisseur direct de courant continu dans lequel le sens de circulation de la puissance est réversible.

Note. — L'inversion du sens de circulation de la puissance peut être réalisée au moyen de commutateurs ou de contacteurs faisant partie du convertisseur.

9.1.8 *Convertisseur direct de courant continu double*

Convertisseur direct de courant continu comprenant deux sections telles que le convertisseur soit capable de fournir de l'énergie ou d'en absorber à partir d'une alimentation commune à courant continu, dans laquelle le courant continu peut circuler dans les deux sens.

9.1.9 *Convertisseur direct de courant multiple*

Combinaison de plusieurs convertisseurs directs de courant continu associés de façon telle qu'ils ne puissent être considérés comme indépendants.

9.1.10 *Convertisseur direct de courant continu à plusieurs phases*

Convertisseur direct de courant continu multiple dont tous les groupes de convertisseurs fonctionnent à la même fréquence.

9.1.11 *Convertisseur direct de courant continu symétrique à plusieurs phases*

Convertisseur direct de courant continu à plusieurs phases dont tous les groupes de phase délivrent des tensions de sorties égales entre elles et présentent des intervalles de conduction successifs espacés d'un même temps.

9.1.12 *Hacheur de commande d'induit*

Système de commande de moteurs à courant continu par réglage du courant ou de la tension du circuit d'induit au moyen d'un convertisseur direct de courant continu (hacheur).

Note. — Un dispositif dans lequel le courant inducteur est aussi contrôlé par le hacheur de commande d'induit, en vue de réaliser la réduction automatique du champ inducteur, peut être compris dans cette catégorie.

9.1.13 *Hacheur de commande d'inducteur*

Système de commande de moteurs à courant continu par réglage du courant de l'enroulement inducteur au moyen d'un convertisseur direct de courant continu (hacheur).

Note. — La commande, au moyen d'un convertisseur direct de courant continu (hacheur), du courant inducteur d'enroulement série ou d'enroulement shunt, est comprise dans cette catégorie.

9.1.14 *Hacheur de commande de rhéostat*

Système de commande par réglage du courant au moyen d'un convertisseur direct de courant continu (hacheur) monté en parallèle avec tout ou partie d'un rhéostat.

9.1.15 *Hacheur à fréquence fixe*

Hacheur fonctionnant avec une seule fréquence élémentaire et assurant, par variation continue du rapport de conduction, le réglage de la tension d'alimentation de la charge dans toute la plage de fonctionnement.

9.1.16 *Hacheur à fréquence variable*

Hacheur assurant par variation continue de la fréquence élémentaire le réglage de la tension d'alimentation de la charge dans toute la plage de fonctionnement.

9.1.5 *Convertor group*

A group of convertor sections operating in parallel with the same frequency, phase and pulse width.

9.1.6 *Non-reversible direct d.c. convertor*

A direct d.c. convertor in which the power flow is in only one direction.

9.1.7 *Reversible direct d.c. convertor*

A direct d.c. convertor in which the direction of the power flow is reversible.

Note. — The reversal of the direction of power flow may be achieved by the use of change-over switches or contactors which are part of the direct d.c. convertor.

9.1.8 *Double direct d.c. convertor*

A direct d.c. convertor containing two sections such that the convertor is able to supply power to or to take power from a common d.c. supply with direct current in both directions.

9.1.9 *Multiple direct d.c. convertor*

A multiple direct d.c. convertor is a combination of several direct d.c. convertors related in such a manner that they may not be considered as independent.

9.1.10 *Multiphase direct d.c. convertor*

A multiple direct d.c. convertor in which all convertor groups operate at the same frequency.

9.1.11 *Symmetrical multiphase direct d.c. convertor*

A multiphase direct d.c. convertor with an identical magnitude of output voltage from all convertor phase groups and with the same time displacement between any two consecutive convertor phase group conducting intervals.

9.1.12 *Armature chopper control*

A control system for d.c. motors that operates by controlling the current and/or the voltage of the armature circuit with a direct d.c. convertor (chopper).

Note. — A device controlling the field current by the armature chopper control in order to reduce automatically the field, may be included in this category.

9.1.13 *Field chopper control*

A control system for d.c. motors that operates by controlling the current of the field winding with a direct d.c. convertor (chopper).

Note. — The current shunting control of a series-field winding with a d.c. chopper and the current control of a shunt-field winding with a d.c. chopper are included in this category.

9.1.14 *Resistance chopper control*

A control system that operates by current adjustment with a direct d.c. convertor (chopper) connected in parallel with all or part of a resistor.

9.1.15 *Fixed frequency chopper*

A chopper operated at a single elementary frequency in order to ensure, by a continuous variation of the conduction ratio, the control of the load supplying voltage between its limits.

9.1.16 *Variable frequency chopper*

A chopper ensuring by a continuous variation of the elementary frequency the control of the load supplying voltage between its limits.

9.1.17 *Hacheur à fréquences multiples*

Hacheur utilisant plusieurs fréquences fixes de valeurs plus faibles que la fréquence fixe nominale (en principe des sous-fréquences élémentaires de cette fréquence) pour obtenir de très basses tensions d'alimentation de la charge ou pour améliorer le rendement.

9.1.18 *Hacheur à réglage composite*

Hacheur assurant le réglage de la tension aux bornes de la charge par variation continue de la fréquence élémentaire combinée avec une variation continue du rapport de conduction.

9.1.19 *Bornes d'entrée*

Bornes à travers lesquelles la puissance entre dans le convertisseur direct de courant continu, en traction.

Notes 1. — En freinage par récupération, la puissance sort par les bornes d'entrée du convertisseur direct de courant continu.

2. — Cette définition ne s'applique pas aux hacheurs de commande d'induit ou de rhéostat.

9.1.20 *Bornes de sortie*

Bornes à travers lesquelles la puissance sort du convertisseur direct de courant continu, en traction.

Notes 1. — En freinage par récupération, la puissance entre par les bornes de sortie du convertisseur direct de courant continu.

2. — Cette définition ne s'applique pas aux hacheurs de commande d'induit ou de rhéostat.

9.2 *Éléments de circuit convertisseur*

9.2.1 *Ensemble (d'éléments de valve) (VEI 551-03-12 modifié)*

Assemblage électrique et mécanique de thyristors, de diodes, de blocs de thyristors ou de diodes comprenant, à l'intérieur de sa propre structure mécanique, tous ses moyens de raccordement et ses auxiliaires, y compris, s'il y a lieu, ses dispositifs de refroidissement, mais sans les transformateurs, dispositifs de coupure et autres organes auxiliaires.

9.2.2 *Partie hacheur*

Commutateur électronique à courant continu à fonctionnement périodique pour des applications de réglage.

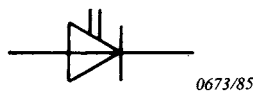


FIG. 1. — Symbole graphique: partie hacheur.

9.2.3 *Partie commande du hacheur*

Partie du convertisseur agissant sur la partie hacheur conformément au signal de commande extérieur.

Notes 1. — Pour informations supplémentaires concernant les dispositifs électroniques de commande, voir la Publication 571 de la CEI.

2. — Pour les autres définitions relatives aux éléments de circuits convertisseurs, voir la Publication 50 (551) de la CEI.

9.3 *Propriétés du circuit*

9.3.1 *Courant principal d'un élément de circuit convertisseur*

Courant direct circulant entre les bornes principales des éléments semiconducteurs principaux, à l'état passant, du circuit convertisseur.

Note. — Le courant principal est souvent désigné comme le «courant» de l'élément de circuit convertisseur.

9.1.17 *Multiple frequency chopper*

A chopper operated by several fixed frequencies at lower values than the fixed nominal frequency (as a rule sub-frequencies of the nominal working fixed elementary frequency) to obtain the very low load supplying voltages or to obtain higher efficiency.

9.1.18 *Mixed control chopper*

A chopper ensuring the control of the load supplying voltage by a continuous variation of the elementary frequency arranged with a continuous variation of the conduction ratio.

9.1.19 *Input terminals*

The terminals through which power flows into the direct d.c. convertor in motoring operations.

Notes 1. — In regenerative braking operation the power flows out of the input terminals of the direct d.c. convertor.

2. — This definition does not apply to armature chopper control or resistance chopper control.

9.1.20 *Output terminals*

The terminals through which power flows out of the direct d.c. convertor in motoring operations.

Notes 1. — In regenerative braking operation the power flows into the output terminals of the direct d.c. convertor.

2. — This definition does not apply to armature chopper control or resistance chopper control.

9.2 *Convertor circuit elements*

9.2.1 *(Valve device) assembly (IEV 551-03-12 modified)*

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

9.2.2 *Chopping part*

A periodically operated electronic d.c. switch in control application.

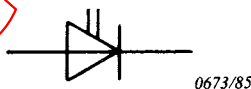


FIG. 1. — Graphic symbol: chopping part.

9.2.3 *Chopper control part*

A part of the convertor that operates the chopping part in accordance with the external control signal.

Notes 1. — For additional information concerning control electronics, see IEC Publication 571.

2. — For further definitions of convertor circuit elements, see IEC Publication 50 (551).

9.3 *Circuit properties*

9.3.1 *Principal current of convertor circuit element*

The forward current flowing between the main terminals of the principal semiconductor devices, on-state, of a convertor circuit.

Note. — The principal current is often referred to as the "current" of the convertor circuit element.

9.3.2 *Intervalle de conduction*

Partie de la période pendant laquelle le courant principal traverse un quelconque élément de circuit convertisseur.

9.3.3 *Intervalle de suppression* (VEI 551-05-38)

Intervalle entre l'instant auquel le courant de conduction dans un élément de valve s'annule et l'instant auquel ce même élément de valve est appelé à supporter une tension directe à l'état bloqué.

Note. — L'intervalle de suppression doit être supérieur au temps de recouvrement des éléments de valve du circuit commuté. L'un et l'autre dépendent des conditions de service du convertisseur.

9.3.4 *Intervalle de repos*

Partie de la période pendant laquelle un élément de circuit convertisseur est à l'état bloqué.

9.3.5 *Rapport de conduction* (VEI 551-05-41)

Rapport de l'intervalle de conduction à la somme de l'intervalle de conduction et de l'intervalle de repos.

9.3.6 *Commutation* (VEI 551-05-01)

Transfert du courant d'un bras à un autre.

9.3.7 *Commutation directe* (VEI 551-05-07)

Commutation entre deux bras principaux, sans transfert à travers un ou plusieurs bras auxiliaires.

9.3.8 *Commutation indirecte* (VEI 551-05-08)

Suite de commutations d'un bras principal à un autre, ou avec retour de la conduction au même bras principal, au moyen de commutations successives par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs bras auxiliaires.

Notes 1. — Une commutation indirecte est obtenue, pour les convertisseurs directs de courant continu, au moyen de bras d'extinction.

2. — Dans certains montages de convertisseurs, plusieurs bras auxiliaires interviennent successivement.

9.3.9 *Intervalle de commutation (intervalle d'empiètement)*

Intervalle de temps au cours duquel deux bras commutants transportent simultanément le courant principal.

9.3.10 *Tension de commutation* (VEI 551-05-12)

Tension qui provoque la commutation du courant.

9.3.11 *Facteur de réglage par impulsion* (VEI 551-05-33)

Rapport de conduction d'un bras principal dans le cas du réglage par durée d'impulsion et en considérant comme nulle l'inductance de commutation.

9.3.12 *Rapport de transfert* (VEI 551-05-34)

Rapport de la tension du côté de la charge à la tension du côté de la source.

Notes 1. — On mesure ces tensions en valeurs moyennes arithmétiques.

2. — On peut modifier le rapport de transfert en faisant varier l'intervalle de conduction du bras principal ou la fréquence élémentaire.

3. — Si le rapport de transfert est plus grand que un, le convertisseur peut être appelé «hacheur élévateur». Si le rapport de transfert est plus petit que un, le convertisseur peut être appelé «hacheur abaisseur».

9.3.13 *Fréquence élémentaire*

Inverse de la somme des intervalles de conduction et de repos du bras principal d'une section de convertisseur.

9.3.2 *Conduction interval*

That part of an operating cycle in which the principal current flows in any convertor circuit element.

9.3.3 *Hold-off interval* (IEV 551-05-38)

The interval between that instant when the on-state current of a controllable valve device has decreased to zero and that instant when the same valve device is required to withstand off-state voltage.

Note. — The hold-off interval shall exceed the circuit commutated recovery time of the valve device. Both depend on the service conditions of the convertor.

9.3.4 *Idle interval*

That part of the period in which any convertor circuit element does not conduct.

9.3.5 *Conduction ratio* (IEV 551-05-41)

The ratio of the conduction interval to the sum of the conduction interval and the idle interval.

9.3.6 *Commutation* (IEV 551-05-01)

The transfer of the current from one arm to another.

9.3.7 *Direct commutation* (IEV 551-05-07)

A commutation between two principal arms, without transfer through any auxiliary arms.

9.3.8 *Indirect commutation* (IEV 551-05-08)

A series of commutations from one principal arm to another or back to the original one, by successive commutations via one or more auxiliary arms.

Notes 1. — Indirect commutation is given by turn-off arms in the case of direct d.c. convertors.

2. — In some convertor connections, several auxiliary arms are involved consecutively.

9.3.9 *Commutation interval (overlap interval)*

The time interval in which two commutating convertor arms together are carrying the principal current.

9.3.10 *Commutating voltage* (IEV 551-05-12)

The voltage which causes the current to commute.

9.3.11 *Pulse control factor* (IEV 551-05-33)

The conduction ratio of a principal arm in the case of pulse duration control and if the commutation inductance is considered to be zero.

9.3.12 *Transfer factor* (IEV 551-05-34)

The ratio of the voltage on the load side to the voltage on the source side.

Notes 1. — Both voltages have to be measured in arithmetic mean values.

2. — The transfer factor may be varied by variation of the conducting interval of the principal arm or by variation of the elementary frequency.

3. — If the transfer factor is greater than one, the convertor may be called a "step-up direct d.c. convertor". If the transfer factor is less than one, the convertor may be called a "step-down direct d.c. convertor".

9.3.13 *Elementary frequency*

The reciprocal of the sum of the conduction and idle intervals of the principal arm of a convertor section.

9.3.14 *Fréquence résultante dans la source*

La plus basse fréquence de l'ondulation produite par un convertisseur direct de courant continu à plusieurs phases du côté de la source.

Note. — Pour les besoins de modélisation, on peut considérer qu'à cette fréquence résultante les ondes (de tension, de courant) assurent une symétrie idéale.

9.3.15 *Fréquence résultante dans la charge*

La plus basse fréquence de l'ondulation produite par un convertisseur direct de courant continu à plusieurs phases du côté de la charge.

Note. — Pour les besoins de modélisation, on peut considérer qu'à cette fréquence résultante, les ondes (de tension, de courant) assurent une symétrie idéale.

9.3.16 *Indice de pulsation résultante (par rapport à la charge ou à la source)*

Nombre de groupes de phase de convertisseur (déphasé) d'un convertisseur direct de courant continu symétrique à plusieurs phases.

Notes 1. — L'indice de pulsation résultante dans la charge s'exprime par le rapport:

$$\frac{\text{Fréquence résultante dans la charge}}{\text{Fréquence élémentaire}}$$

2. — L'indice de pulsation résultante dans la source s'exprime par le rapport:

$$\frac{\text{Fréquence résultante dans la source}}{\text{Fréquence élémentaire}}$$

9.4 *Caractéristiques relatives aux convertisseurs*

Pour le hacheur de commande de rhéostat et le hacheur de commande d'inducteur, les paragraphes suivants seront applicables, dans la mesure où ils sont utiles.

9.4.1 *Rendement en puissance ou rendement*

Rapport entre la puissance active de sortie et la puissance active d'entrée.

Note. — Ces deux puissances doivent être prises comme la puissance totale donnée par la formule:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt$$

où:

T est la période de la plus basse fréquence d'ondulation du produit $u \cdot i$

u est la tension instantanée d'entrée ou de sortie

i est l'intensité instantanée d'entrée ou de sortie

9.4.2 *Facteur de conversion en courant continu (VEI 551-06-15)*

Dans le cas de conversion de courant continu, rapport de la puissance en courant continu côté charge à celle côté source.

Note. — La puissance en courant continu doit être prise comme étant le produit des valeurs moyennes de la tension et du courant.

9.4.3 *Ondulation*

Fonction obtenue en soustrayant la composante continue d'une fonction périodique.

9.4.4 *Composantes de l'ondulation*

Composantes de l'ondulation exprimées par l'ordre et la valeur efficace des termes de la série de Fourier représentant cette fonction.

9.4.5 *Teneur relative en composantes alternatives*

Rapport entre la valeur efficace de l'ondulation et la composante continue de la fonction.

9.4.6 *Ondulation crête à crête relative*

Rapport entre la valeur crête à crête de l'ondulation et la composante continue de la fonction.

9.3.14 *Source resultant frequency*

The lowest ripple frequency present in a multiphase convertor on the source side produced by the multiphase direct d.c. convertor.

Note. — For needs of calculation, it can be considered that for this resultant frequency, the waves (of voltage, of current) are ideally symmetrical.

9.3.15 *Load resultant frequency*

The lowest ripple frequency present in a multiphase convertor on the load side, produced by the multiphase direct d.c. convertor.

Note. — For needs of calculation, it can be considered that for this resultant frequency, the waves (of voltage, of current) are ideally symmetrical.

9.3.16 *Resulting pulse number (referred to the load or source)*

The number of convertor phase groups (phase-shifted) of a symmetrical multiphase direct d.c. convertor.

Notes 1. — Load resulting pulse number:

$$\frac{\text{Load resultant frequency}}{\text{Elementary frequency}}$$

2. — Source resulting pulse number:

$$\frac{\text{Source resultant frequency}}{\text{Elementary frequency}}$$

9.4 *Characteristics related to convertors*

For the resistance chopper control and the field chopper control the following sub-clauses will be adopted as long as they are useful.

9.4.1 *Power efficiency or efficiency*

The ratio of active output power and active input power.

Note. — Both powers are to be taken as the total power as given by the formula:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt$$

where:

T is to be taken as the period of the lowest order ripple of the product $u \cdot i$

u is the instantaneous input or output voltage

i is the instantaneous input or output current

9.4.2 *D.C. conversion factor (IEV 551-06-15)*

For d.c. conversion, the ratio between the d.c. power values of the load side and source side.

Note. — The d.c. power is to be taken as the product of the mean values of the voltage and current.

9.4.3 *Ripple*

The function obtained by subtracting the direct component from a periodic function.

9.4.4 *Ripple components*

The components of ripple expressed by order and r.m.s. values of the Fourier series terms describing that function.

9.4.5 *Relative ripple content*

The ratio of the r.m.s. value of ripple to the direct component of the function.

9.4.6 *Relative peak-to-peak ripple factor*

The ratio of the peak-to-peak ripple value to the direct component of the function.

9.4.7 Taux d'ondulation d'un courant continu (VEI 551-06-30)

Rapport de la demi-différence entre les valeurs maximale et minimale à la valeur moyenne d'un courant continu pulsatoire.

Note. — Pour les faibles valeurs du taux d'ondulation, cette grandeur est approximativement égale au rapport de la différence à la somme des valeurs maximale et minimale.

9.4.8 Facteur de forme en courant continu (VEI 551-06-29)

Rapport de la valeur efficace à la valeur moyenne, évalué sur une période complète, d'une tension ou d'un courant périodique ayant une composante continue.

9.4.9 Bande de tolérance

Gamme des valeurs de régime établi que peut prendre une grandeur de sortie stabilisée, comprise entre des limites spécifiées.

Notes 1. — La bande de tolérance constitue la déviation autorisée d'une grandeur de sortie stabilisée à partir d'une valeur assignée ou prédéterminée.

2. — La définition d'une bande de tolérance est utile lorsque la distinction entre les erreurs dues à l'influence de la charge et les erreurs intrinsèques ne présente pas d'intérêt.

9.4.10 Valeurs assignées

Valeurs spécifiées par le constructeur aux grandeurs électriques, thermiques, mécaniques et climatiques, afin de définir les conditions de fonctionnement dans lesquelles un convertisseur assure un service correct.

9.4.11 Tension de sortie

Tension moyenne (sauf spécification différente pour une charge particulière) entre les bornes de sortie, prise sur une période de la plus basse fréquence d'ondulation de la tension.

9.4.12 Tension de sortie assignée

Tension de sortie spécifiée par le constructeur comme base du régime d'utilisation.

9.4.13 Puissance de sortie

Puissance active aux bornes de sortie.

9.4.14 Puissance de sortie assignée

Puissance de sortie dans des conditions de charge spécifiées.

9.4.15 Courant de sortie

Courant moyen, pris sur une période de la plus basse fréquence d'ondulation du courant, obtenu aux bornes de sortie.

9.4.16 Courant de sortie assigné

Courant de sortie spécifié par le constructeur comme base des cycles de charge et de la tenue aux surintensités.

9.4.17 Température d'équilibre

Température stable atteinte par un composant de convertisseur dans des conditions spécifiées de charge et de refroidissement.

9.4.18 Condition d'équilibre

Condition dans laquelle un équipement convertisseur supporte un courant continu de valeur fixe pendant une durée suffisante pour que les composants du convertisseur atteignent la température d'équilibre correspondant à cette valeur de courant.

9.4.19 Courant de sortie assigné en régime continu

Courant de sortie maximal qui peut être débité en permanence sans que les limites établies dans les conditions de service prescrites soient dépassées.

9.4.7 *D.C. ripple factor* (IEV 551-06-30)

The ratio of half the difference between the maximum and minimum value to the mean value of a pulsating direct current.

Note. — With low values of the d.c. ripple factor, this quantity is approximately equal to the ratio of the difference to the sum of the maximum and the minimum values.

9.4.8 *D.C. form factor* (IEV 551-06-29)

The ratio of the r.m.s. value to the mean value averaged over a full period of a periodically varying quantity having a d.c. component.

9.4.9 *Tolerance band*

The range of steady-state values of a stabilized output quantity lying between specified limits.

Notes 1. — Tolerance band describes the permissible deviation of a stabilized output quantity from a rated or pre-set value.

2. — A statement of tolerance band is useful when the distinction between errors due to load influence and the intrinsic errors is not of interest.

9.4.10 *Rated value*

A specified value of the electrical, thermal, mechanical and environmental quantities assigned by the manufacturer to define the operating conditions under which a convertor is expected to give satisfactory service.

9.4.11 *Output voltage*

The average voltage (unless otherwise specified for a particular load) taken over one period of the lowest order ripple voltage appearing between the output terminals.

9.4.12 *Rated output voltage*

The output voltage specified by the manufacturer as a basis for rating.

9.4.13 *Output power*

The active power at the output terminals.

9.4.14 *Rated output power*

The output power under specified load conditions.

9.4.15 *Output current*

The average current taken over one period of the lowest frequency ripple current appearing between the output terminals.

9.4.16 *Rated output current*

The output current specified by the manufacturer as a basis for declaring the duty cycles and overcurrent capability.

9.4.17 *Equilibrium temperature*

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

9.4.18 *Steady-state duty*

A duty where 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 this fixed value of current.

9.4.19 *Rated continuous output current*

The maximum output current which can be carried continuously without exceeding the established limitations under prescribed conditions of operation.

9.4.20 Courant de sortie assigné de longue durée

Courant de sortie maximal qui peut être débité pendant un temps spécifié (minutes) sans que les limites établies dans des conditions de service prescrites soient dépassées.

9.4.21 Courant de sortie assigné de courte durée

Courant de sortie maximal qui peut être débité pendant un temps spécifié (secondes) sans que les limites établies dans des conditions de service prescrites soient dépassées.

Note. — La valeur instantanée peut être plus élevée en raison de l'ondulation du courant.

9.4.22 Courant de court-circuit dynamique de sortie

Courant transitoire qui circule entre les bornes de sortie lorsqu'elles sont mises en court-circuit.

9.4.23 Impédance de sortie

Impédance présentée à la charge par le convertisseur direct de courant continu dans des conditions spécifiées.

9.4.24 Inductance transitoire de la charge

Inductance présentée par la charge au convertisseur direct de courant continu lors de l'application initiale de la tension continue.

9.4.25 Impédance de charge

Impédance présentée par la charge au convertisseur direct de courant continu dans des conditions spécifiées.

9.4.26 Tension d'alimentation en courant continu (tension d'entrée)

Valeur moyenne de la tension entre les bornes d'entrée de la tension continue, prise sur une période de la plus basse fréquence d'ondulation de la tension (engendrée par la source elle-même et par le convertisseur) apparaissant aux bornes d'entrée.

9.4.27 Tension assignée d'alimentation

Tension continue d'alimentation spécifiée par le constructeur comme base du régime d'utilisation.

9.4.28 Surtension d'alimentation

Tension de crête instantanée qui peut apparaître sur la ligne d'alimentation en courant continu entre les points de branchement du convertisseur direct de courant continu, mais ce convertisseur étant déconnecté.

9.4.29 Appel de courant

Valeur de crête instantanée du courant d'entrée du convertisseur lors de l'application de l'alimentation.

9.4.30 Impédance d'entrée

Impédance présentée à la source par le convertisseur direct de courant continu dans des conditions spécifiées.

10. Configurations et caractéristiques des convertisseurs directs de courant continu

10.1 Configurations de base

Les convertisseurs directs de courant continu présentent diverses configurations qui peuvent être ramenées à deux variantes du circuit de base.

9.4.20 Rated long-time output current

The maximum output current which can be carried for a specified time (minutes) without exceeding the established limitations under prescribed conditions of operation.

9.4.21 Rated short-time output current

The maximum output current which can be carried for a specified time (seconds) without exceeding the established limitations under prescribed conditions of operation.

Note. — The instantaneous value may be higher due to ripple.

9.4.22 Dynamic short-circuit output current

The transient current which flows into a short circuit across the output terminals.

9.4.23 Output impedance

The impedance presented by the direct d.c. convertor to the load under specified conditions.

9.4.24 Load step inductance

The inductance presented by the load on initial application of the direct voltage.

9.4.25 Load impedance

The impedance presented by the load to the direct d.c. convertor under specified conditions.

9.4.26 D.C. supply voltage (input voltage)

The mean value of the direct voltage between the input terminals taken over one period of the lowest order ripple voltage (from the source itself and from the convertor) appearing between the input terminals.

9.4.27 Rated supply voltage

The d.c. supply voltage specified by the manufacturer as a basis for rating.

9.4.28 Supply overvoltage

The peak instantaneous voltage that may appear between the d.c. supply lines at the convertor connection point but with the direct d.c. convertor disconnected.

9.4.29 In-rush current

The maximum instantaneous value of the input current to the convertor when switching on the convertor.

9.4.30 Input impedance

The impedance presented by the direct d.c. convertor to the source under specified conditions.

10. Configurations and characteristics of direct d.c. convertors**10.1 Basic configurations**

There are various configurations of direct d.c. convertors. They can be reduced to two versions of one basic circuit.

10.1.1 Convertisseur direct de courant continu abaisseur de tension

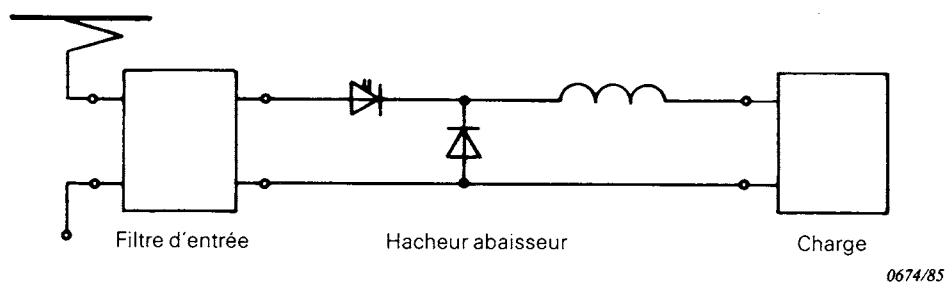


FIG. 2. — Convertisseur direct de courant continu abaisseur de tension.

La figure 2 montre le schéma de principe. Ce hacheur est normalement alimenté à tension de ligne approximativement constante par l'intermédiaire d'un filtre. La tension continue de sortie est variable. La charge peut être constituée par un moteur de traction ou par un circuit de liaison à courant continu destiné à l'alimentation d'un autre convertisseur. La tension de sortie ne peut pas dépasser la tension d'entrée. Le courant d'entrée ne peut pas être supérieur au courant de sortie.

10.1.2 Convertisseur direct de courant continu élévateur de tension

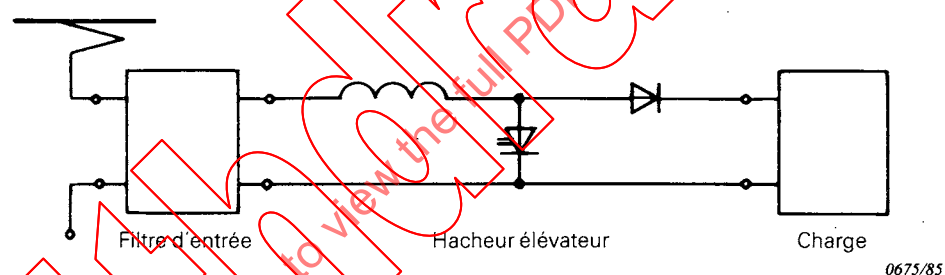


FIG. 3. — Convertisseur direct de courant continu élévateur de tension.

La figure 3 montre le schéma de principe. Ce hacheur est normalement alimenté à tension de ligne approximativement constante par l'intermédiaire d'un filtre. Normalement la tension continue de sortie est constante. La charge peut être constituée par un circuit de liaison à courant continu destiné à l'alimentation d'un autre convertisseur. La tension de sortie ne peut pas être inférieure à la tension d'entrée. Le courant d'entrée ne peut pas être inférieur au courant de sortie.

10.2 Fonctionnement en freinage

Chacune des configurations de base peut être disposée en vue d'inverser le sens d'écoulement de l'énergie. L'arrangement pour le fonctionnement en freinage de chaque type de hacheur est du même genre que l'arrangement pour le fonctionnement en traction de l'autre type de hacheur. Voir figures 4 et 5, pages 36 et 38.

10.2.1 Freinage par récupération

Des exemples de schémas sont indiqués à la ligne *b*) des figures 4 et 5.

10.2.2 Freinage rhéostatique

Des exemples de schémas sont indiqués à la ligne *c*) des figures 4 et 5.

10.1.1 Direct d.c. step-down voltage convertor

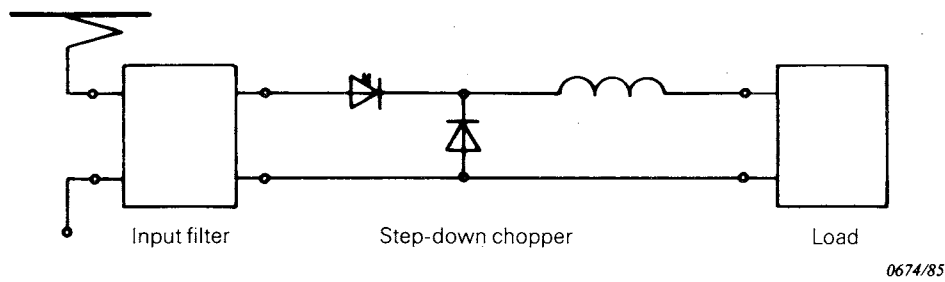


FIG. 2. — Direct d.c. step-down voltage convertor.

The basic configuration is shown in Figure 2. This chopper is normally supplied at approximately constant line voltage via a filter. The d.c. output voltage is variable. The load may be a d.c. motor or direct current link circuit for feeding further convertor equipment. The output voltage cannot be greater than the input voltage; the input current cannot be greater than the output current.

10.1.2 Direct d.c. step-up voltage convertor

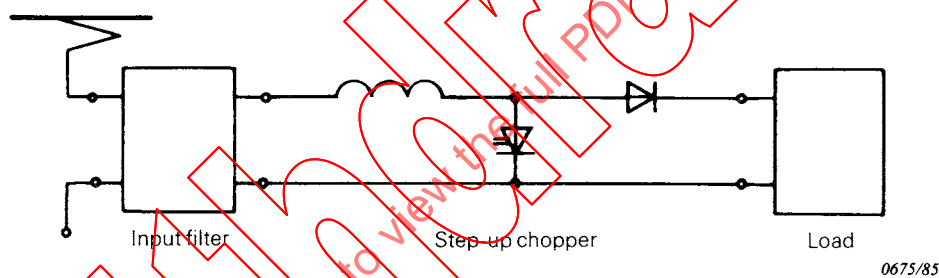


FIG. 3. — Direct d.c. step-up voltage convertor.

The basic configuration is shown in Figure 3. This chopper is normally supplied at approximately constant line voltage via a filter. Normally the output d.c. voltage is constant. The load may be a direct voltage link circuit for supplying further convertor equipment. The output voltage cannot be less than the input voltage. The input current cannot be less than the output current.

10.2 Braking operation

Either configuration can be rearranged to reverse the flow of energy. The braking arrangement of each type of chopper is of the same kind as the motoring arrangement of the other type of chopper (see Figures 4 and 5, pages 37 and 39).

10.2.1 Regenerative braking operation

Examples of circuit arrangements are shown in line *b*) of Figures 4 and 5.

10.2.2 Rheostatic braking

Examples of circuit arrangements are shown in line *c*) of Figures 4 and 5.

Pour les équipements de freinage rhéostatique, le constructeur doit indiquer si le fonctionnement doit ou non dépendre de la ligne.

10.2.3 *Combinaisons des freinages par récupération et rhéostatique*

Des exemples de schémas sont donnés à la ligne *d*) des figures 4 et 5.

10.3 *Caractéristiques côté ligne du convertisseur*

10.3.1 *Généralités*

Les caractéristiques de la tension continue rattachée à l'alimentation sont spécifiées à l'article 3. Les caractéristiques ci-après se rapportent à l'entrée du convertisseur.

10.3.2 *Tensions d'entrée*

Sauf spécification contraire, l'équipement doit être capable de fournir au moins la tension et les courants spécifiés pour toutes les valeurs de la tension côté ligne du convertisseur comprises entre 100% et 120% de la tension ligne nominale (U_{LN}) définie au paragraphe 3.1.5.3.

Le convertisseur et ses auxiliaires doivent pouvoir être mis en service et continuer à fonctionner indéfiniment pour des tensions côté ligne aussi basses que 66,6% de U_{LN} .

Note. — Tout déclassement nécessaire du convertisseur direct de courant continu pour des tensions inférieures à la tension assignée doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

For rheostatic braking equipment the manufacturer shall declare whether the operation is line dependent or line independent.

10.2.3 *Combinations of regenerative and rheostatic braking*

Examples of circuit arrangements are shown in line *d*) of Figures 4 and 5.

10.3 *Line-side characteristics of the convertor*

10.3.1 *General*

Characteristics of the d.c. voltage as referred to the supply are specified in Clause 3. The following characteristics refer to the convertor input.

10.3.2 *Input voltages*

Unless otherwise agreed, the equipment shall be capable of supplying at least the voltage and currents specified, for all voltage values on the line side of the convertor between 100% and 120% of U_{LN} (see Sub-clause 3.1.5.3).

The convertor and its auxiliaries shall be capable of starting and continuing to operate indefinitely for voltage values on the line side down to 66.6% of U_{LN} .

Note. — Any necessary derating of the direct d.c. convertor for voltages less than the rated voltage shall be agreed upon between user and manufacturer.

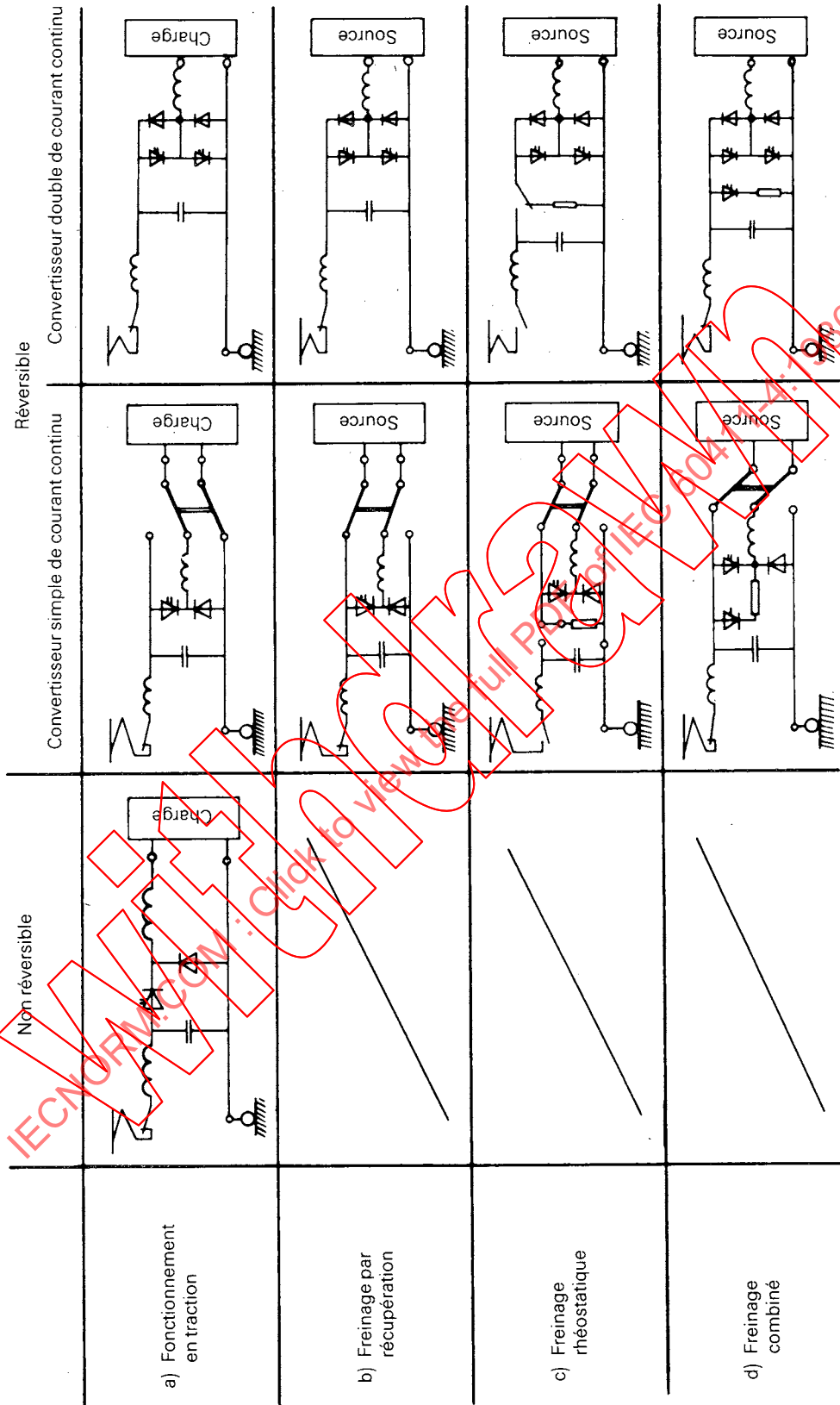


FIG. 4. — Exemples d'arrangements possibles pour un hacheur abaisseur utilisé pour le fonctionnement en traction.

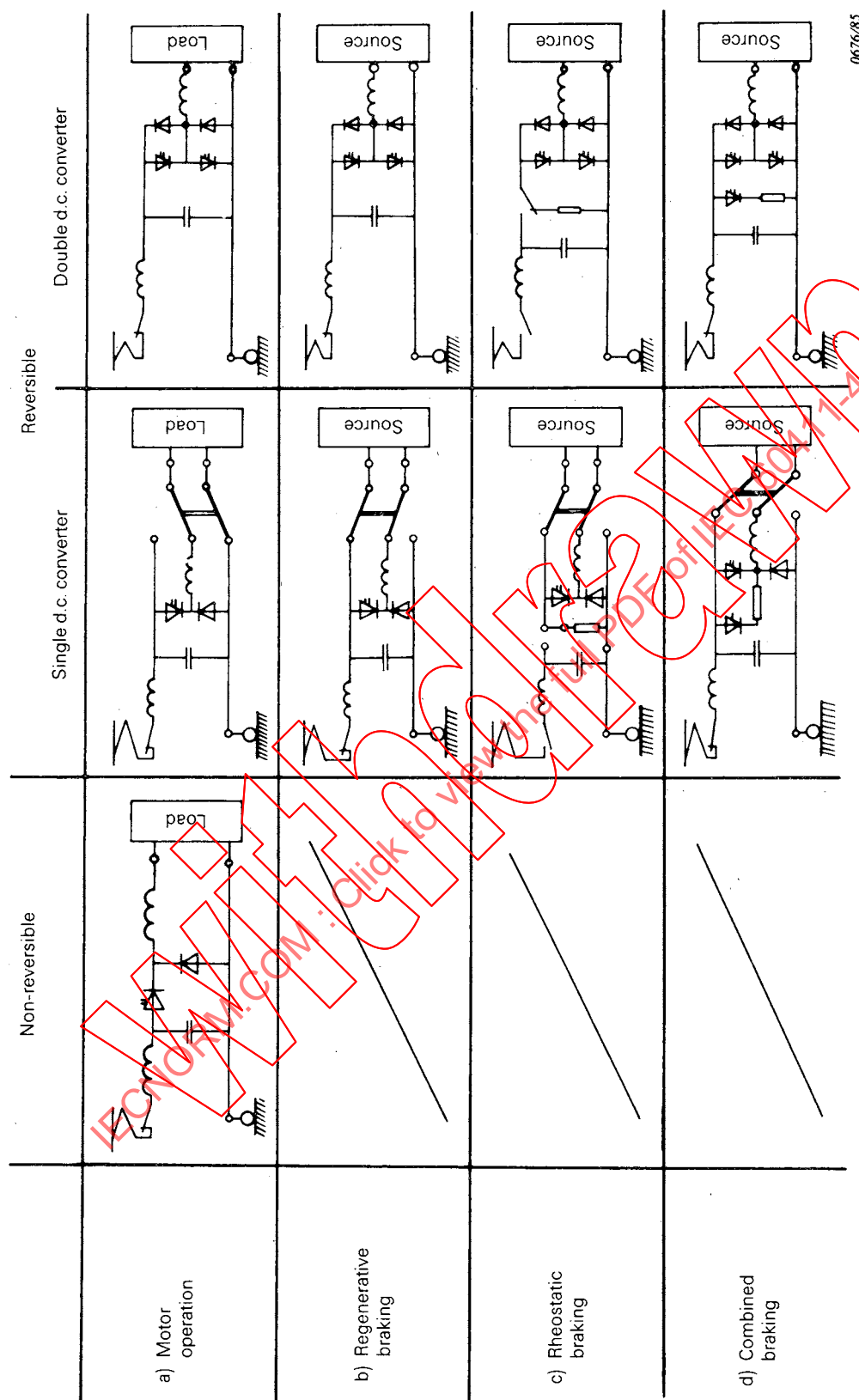


FIG. 4. — Examples of arrangements possible with a chopper which acts in a step-down mode when used for motoring operation.

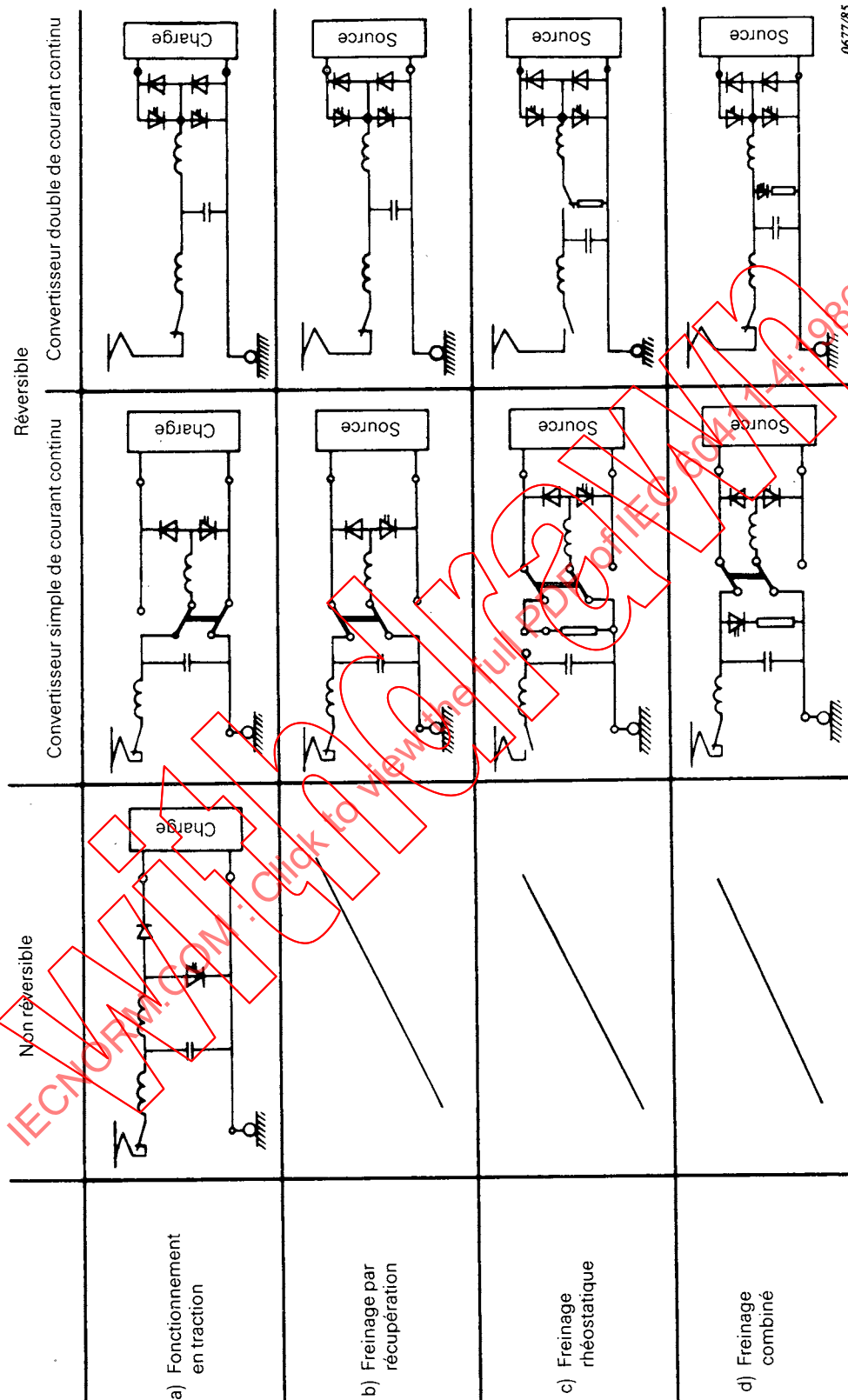


FIG. 5. — Exemples d'arrangements possibles pour un hacheur élévateur utilisé pour le fonctionnement en traction.

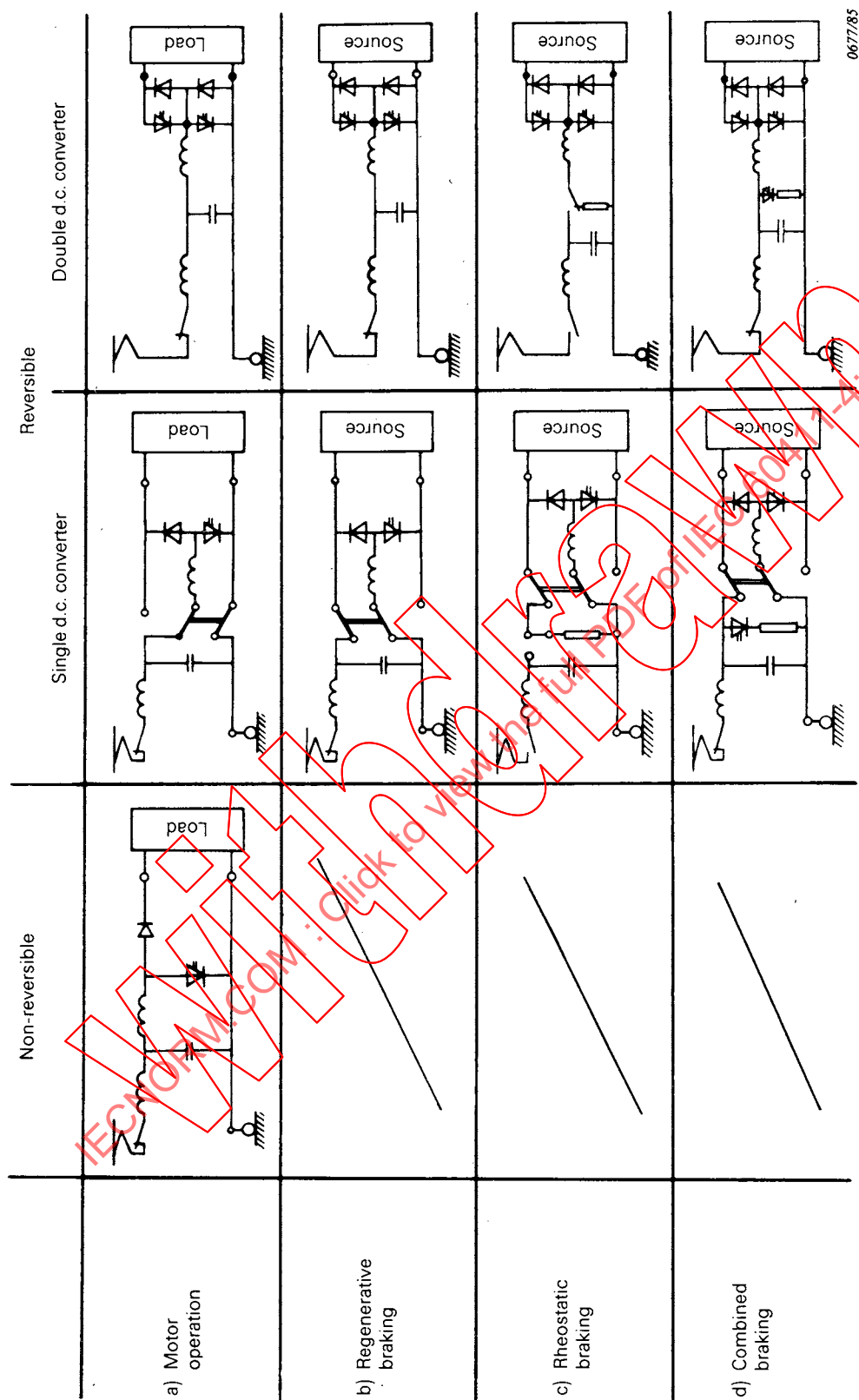


FIG. 5. — Examples of arrangements possible with a chopper which acts in a step-up mode when used for motoring operation.

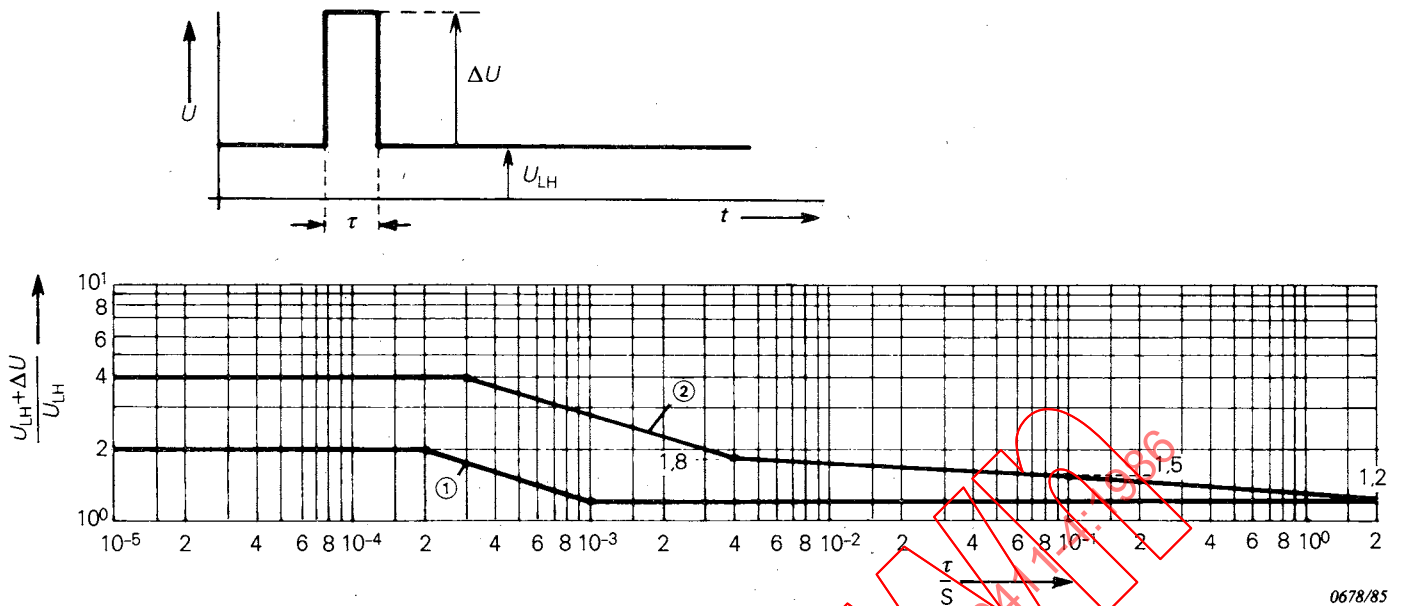


FIG. 6. — Niveaux des surtensions d'alimentation.

10.3.3 Surtensions d'entrée

L'équipement convertisseur, y compris ses dispositifs de protection s'il en existe, doit pouvoir supporter sans dommage les surtensions d'entrée spécifiées par l'utilisateur. En cas d'absence de spécification, on utilise les valeurs de surtension données, à titre indicatif, par la courbe 2 de la figure 6. L'utilisateur doit indiquer si les dispositifs de protection utilisés doivent ou non être réarmables. Le convertisseur direct de courant continu doit fonctionner normalement lorsqu'il est soumis aux surtensions données par la courbe 1 de la figure 6.

Notes 1. — La surtension peut se présenter sous une forme quelconque. Cette forme est soumise à accord entre l'utilisateur et le constructeur. Elle est alors considérée comme équivalente à la surtension rectangulaire de même durée et de même surface (amplitude \times temps).

2. — Il y aura lieu de se référer à la Publication XXX de la CEI: Surtensions dans les réseaux de traction électrique, dès sa parution, pour déterminer la surtension.

10.3.4 Energie transitoire du convertisseur

A la demande de l'utilisateur, le constructeur doit indiquer la quantité d'énergie, due à un phénomène transitoire à l'intérieur du convertisseur, qui peut s'écouler dans l'alimentation en provenance du convertisseur.

10.3.5 Interférences

Le courant d'entrée des véhicules à courant continu peut contenir des composantes alternatives dues soit aux composantes alternatives de la tension d'alimentation, soit au fonctionnement de l'équipement du véhicule. Les courants harmoniques peuvent affecter les réseaux d'alimentation, de télécommunications et de signalisation.

10.3.5.1 Interférence dans le réseau d'alimentation

La caractéristique admissible (valeur du courant alternatif admissible en fonction de la fréquence) d'une composante alternative du courant d'entrée doit faire l'objet d'accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Note. — Si des résonances se produisent dans le réseau d'alimentation, des mesures appropriées doivent être décidées d'un commun accord entre le constructeur, l'entrepreneur général et l'utilisateur du véhicule.

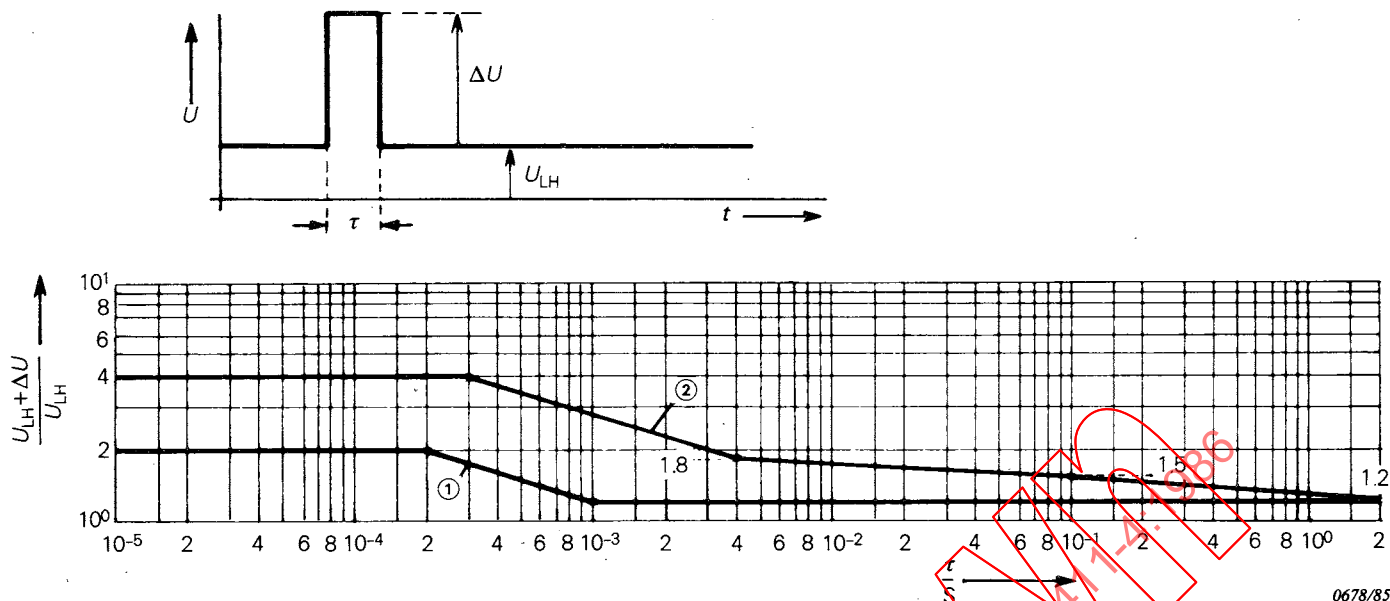


FIG. 6. — Levels of supply overvoltages.

10.3.3 Input overvoltages

The converter equipment including its protective devices, if any, must be able to withstand input overvoltages as specified by the user without damage. In the event of no specification being issued, the overvoltages as specified in curve 2 of Figure 6, shall be used for guidance. The user shall state whether the protective devices used shall be resettable or not. The direct d.c. converter shall operate normally when subjected to overvoltages as given in curve 1 of Figure 6.

Notes 1. — The overvoltage may have any form. This form should be agreed upon between user and manufacturer. It will then be considered equivalent to the rectangular overvoltage of the same continuance and the same surface (amplitude \times time).

2. — IEC Publication XXX: Overvoltages in Traction Networks, should be taken into account as soon as it is published, to define the overvoltage.

10.3.4 Converter transient energy

If the user so requires, the manufacturer shall indicate the amount of energy which may flow from the converter into the supply due to a transient event within the converter.

10.3.5 Interference

The input current of d.c. vehicles may contain superimposed a.c. components caused by either the a.c. components of the supply voltage or the vehicle equipment operation. The harmonic currents may affect the supply, the telecommunication and the signalling systems.

10.3.5.1 Interference to the supply system

The permissible characteristic (the value of permissible a.c. current versus frequency) for an a.c. current component of the input current shall be agreed upon between user and manufacturer.

Note. — In the event of resonances occurring in the supply network, appropriate measures will be decided upon by mutual agreement between the manufacturer, the main contractor and the user of the vehicle.

10.3.5.2 *Interférence dans les réseaux de radiocommunications et de télécommunications*

Les véhicules électriques à convertisseur peuvent causer des perturbations dans les réseaux de radiocommunications et de télécommunications. Quand cela est possible, on applique les recommandations du C.I.S.P.R. et du CCITT* sur la protection des réseaux de radiocommunications et de télécommunications contre les interférences; dans le cas contraire, les définitions et les valeurs limites sont fixées par accord entre constructeur et utilisateur.

Note. — Si une interférence est détectée, des mesures appropriées doivent être décidées d'un commun accord entre le constructeur, l'entrepreneur général et l'utilisateur du véhicule.

10.3.5.3 *Interférence dans le réseau de signalisation*

L'utilisateur peut, si nécessaire, imposer des conditions supplémentaires en ce qui concerne l'interférence sur les réseaux de signalisation, sous les formes suivantes:

- a) En plus de la caractéristique, objet du paragraphe 10.3.5.1, l'utilisateur peut spécifier une valeur maximale du courant susceptible d'apparaître à l'entrée du véhicule, dû aux harmoniques provenant de la ligne d'alimentation et correspondant aux fréquences utilisées pour la signalisation. Le constructeur doit en tenir compte de façon que le courant d'interférence total (c'est-à-dire résultant de la superposition des interférences dues à la ligne et au véhicule) ne dépasse jamais le niveau spécifié au paragraphe 10.3.5.1.
- b) En plus de la caractéristique, objet du paragraphe 10.3.5.1, l'utilisateur peut spécifier pour le véhicule une valeur minimale d'impédance additionnelle correspondant aux fréquences utilisées pour la signalisation.

10.4 *Caractéristiques de sortie du convertisseur direct de courant continu*

Les caractéristiques demandées conformément aux paragraphes 10.4.1, 10.4.2, 10.4.4 et 10.4.7 doivent être fournies par le constructeur seulement si le hacheur est livré en tant qu'unité séparée ne comprenant pas la charge, celle-ci étant d'autre provenance.

Dans ce cas, l'utilisateur doit fournir au constructeur une spécification détaillée de la charge, précisant notamment l'impédance en fonction de la fréquence et le diagramme charge/temps.

Dans le cas d'un hacheur faisant partie intégrante d'un équipement comprenant aussi la charge (par exemple un moteur), la fourniture des caractéristiques conformément aux paragraphes 10.4.1, 10.4.2, 10.4.4 et 10.4.7 n'est plus obligatoire à moins que l'utilisateur n'en fasse la demande. Dans ce cas, le constructeur doit fournir le diagramme charge/temps et le courant assigné de courte durée.

10.4.1 *Caractéristiques du hacheur*

Conformément aux demandes de l'utilisateur, le constructeur doit fournir deux courbes donnant, en fonction du temps, le courant de sortie et la tension de sortie du hacheur, à la tension assignée d'alimentation. Ces deux courbes doivent être tracées avec la même base de temps.

Le constructeur est tenu de déclarer toute limitation qu'il y aurait lieu de placer sur ces courbes pour des valeurs de tensions inférieures à la tension assignée d'alimentation.

10.4.2 *Ondulation du courant*

L'ondulation crête à crête relative, le rapport de conduction et, s'il y a lieu, le taux d'ondulation du courant continu, doivent être spécifiés en fonction du courant continu et de la tension d'entrée maximale.

* CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique).

10.3.5.2 *Interference to radio and telecommunication systems*

Convertor electric vehicles may cause disturbance to radio and telecommunication systems. Where possible, the C.I.S.P.R. and CCITT* recommendations on protection of radio networks and telecommunication lines against interferences shall apply. If not applicable, definitions and limiting values shall be agreed upon between user and manufacturer.

Note. — Should interference be detected, appropriate measures should be decided upon by mutual agreement between the manufacturer, the main contractor and the user of the vehicle.

10.3.5.3 *Interference to the signalling system*

The user may specify additional requirements regarding interference with the signalling systems if necessary. This can be done in two ways:

- a) In addition to the curve as specified in Sub-clause 10.3.5.1, the user may specify the maximum current appearing on the input of the vehicle due to superimposed a.c. harmonics from the overhead supply line at the signalling frequencies. The manufacturer must take this into account so that the total interference current (i.e. the superposition of interference from the line and the vehicle) will never be above the level as specified in Sub-clause 10.3.5.1.
- b) In addition to the curve as specified in Sub-clause 10.3.5.1 the user may specify an additional minimum impedance requirement for the vehicle at the signalling frequencies.

10.4 *Output characteristics of the direct d.c. convertor*

The characteristics required in accordance with Sub-clauses 10.4.1, 10.4.2, 10.4.4 and 10.4.7 shall be provided by the manufacturer only if the chopper is delivered as a separate unit excluding its load, this being obtained from a different manufacturer.

In this case, the user shall supply the manufacturer with a detailed specification of the load including its frequency dependent impedances and its load-time diagram.

If the chopper should form an integral part of an equipment including also the load (e.g. a motor), provision of the characteristics according to Sub-clauses 10.4.1, 10.4.2, 10.4.4 and 10.4.7 is no longer mandatory unless the user requires them. In this case, the manufacturer shall provide the load-time diagram and the rated short-time current.

10.4.1 *Chopper characteristics*

Depending on the requirements of the user, the manufacturer shall provide two curves giving the relationship between the chopper output current and time, and between the chopper output voltage and time, at nominal supply voltage. These two curves shall be drawn with the same time base.

Should any limitation be placed on these curves at voltages lower than the nominal supply voltage this shall be stated by the manufacturer.

10.4.2 *Current ripple*

The relative peak-to-peak ripple factor, the conduction ratio and the d.c. ripple factor, if applicable, shall be specified as a function of the d.c. current and at maximum input voltage.

* CCITT (International Telephone and Telegraph Consultative Committee).

10.4.3 *Courant de sortie assigné en régime continu*

Le courant de sortie assigné en régime continu doit être spécifié pour la température ambiante maximale et les conditions de refroidissement spécifiées.

10.4.4 *Courant de sortie assigné de courte durée*

Le courant de sortie assigné de courte durée doit être spécifié pour des temps fixés par accord entre utilisateur et constructeur.

10.4.5 *Protection contre les courants de court-circuit*

Le constructeur doit indiquer le type et la fonction du dispositif de protection contre les courts-circuits.

10.4.6 *Emission de bruit*

Le bruit audible émis par le convertisseur direct de courant continu ne doit pas excéder le niveau fixé par accord entre l'utilisateur et le constructeur. Il est nécessaire de tenir compte du fait que le niveau de bruit admissible dépend de la puissance et de l'emplacement du hacheur dans le véhicule.

Note. — En l'absence d'accord, le niveau de bruit mesuré comme spécifié au paragraphe 11.3.3 ne doit pas dépasser 80 dB(A), y compris le bruit dû à l'agent de refroidissement.

10.4.7 *Courant commutable maximal*

Le courant commutable maximal doit être spécifié pour la tension minimale d'entrée. Il peut être spécifié pour d'autres valeurs de tension en accord entre l'utilisateur et le constructeur.

11. **Essais des convertisseurs**

Il est recommandé de limiter l'exécution des essais coûteux à ceux qui sont nécessaires. La présente norme est conçue de telle façon que la plupart des essais puissent normalement être effectués, dans les ateliers du constructeur, sur les sous-ensembles du convertisseur.

11.1 *Catégories d'essais*

11.1.1 *Généralités*

Il existe trois catégories d'essais:

- a) les essais de type,
- b) les essais de série,
- c) les essais d'investigation.

La discrimination entre ces trois catégories est faite au cours du texte.

11.1.2 *Essais de type*

Les essais de type doivent être effectués pour vérifier qu'un produit satisfait aux conditions spécifiées et convenues entre utilisateur et constructeur.

Les essais de type doivent être exécutés sur un seul appareil d'un modèle et d'un procédé de fabrication donnés.

Si un convertisseur complet ou l'un de ses éléments constitutifs est identique ou similaire à un appareil essayé antérieurement, le constructeur peut présenter un procès-verbal des essais antérieurs couvrant au minimum les exigences du contrat. Dans de tels cas, il n'est pas nécessaire, sauf convention contraire, de recommencer ces essais sur l'appareil considéré.

10.4.3 *Rated continuous output current*

The rated continuous output current shall be specified for maximum ambient temperature and specified cooling conditions.

10.4.4 *Rated short-time output current*

The rated short-time output current shall be specified for times as agreed upon between user and manufacturer.

10.4.5 *Short-circuit current protection*

The manufacturer shall declare the kind and the method of operation of the short-circuit current protection.

10.4.6 *Noise emission*

The audible noise emitted by the direct d.c. convertor shall not exceed a level as agreed between user and manufacturer. It is necessary to take into account the fact that the allowable noise level depends on the power and the location of the chopper in the vehicle.

Note. — In the absence of an agreement the noise level measured as specified in Sub-clause 11.3.3 shall not exceed 80 dB(A). This includes the noise due to the cooling medium.

10.4.7 *Maximum commutating current*

The maximum commutable current shall be specified for the minimum input voltage. It may be specified for other voltage values by mutual agreement between user and manufacturer.

11. **Tests of convertors**

It is advisable to confine the performance of costly tests to those which are necessary. This standard is so framed that most of the tests can normally be carried out in the manufacturer's workshops on the sub-assemblies of the convertor.

11.1 *Categories of tests*

11.1.1 *General*

There are three types of tests:

- a) type tests,
- b) routine tests,
- c) investigation tests.

The difference between these three types of tests is brought out in the text.

11.1.2 *Type tests*

Type tests shall be carried out to verify that a product will meet the requirements specified and agreed upon between user and manufacturer.

Type tests shall be performed on a single unit of a given design and manufacturing procedure.

If a complete convertor or an individual component of it is identical with, or similar to, one previously tested, the manufacturer may supply a certificate of previous tests which shall at least cover the contract requirements. In such cases, unless otherwise agreed, it is not necessary to repeat these tests on the unit under consideration.

Sous réserve d'accord préalable entre utilisateur et constructeur, certains de ces essais ou tous ces essais peuvent être répétés périodiquement sur des échantillons de diodes, de thyristors ou d'éléments prélevés sur la production ou les livraisons courantes, de façon à confirmer que la qualité du produit est toujours conforme aux conditions spécifiées.

L'exécution des essais de type facultatifs n'est exigible que si elle est expressément spécifiée dans le contrat.

11.1.3 *Essais de série*

Les essais de série sont exécutés dans le dessein de vérifier que les propriétés d'un produit correspondent à celles qui ont été mesurées lors des essais de type. Les essais de série doivent être effectués par le constructeur, en principe sur chacun des divers dispositifs ou appareils d'équipement du même type.

Les comptes rendus des essais de fabrication peuvent toutefois être reconnus comme valides par l'utilisateur et peuvent lui être présentés à titre d'essais de série. L'utilisateur peut alors contrôler par échantillonnage les résultats des essais de fabrication sans avoir à les refaire sur chaque élément.

L'exécution des essais de série facultatifs n'est exigible que si elle est expressément spécifiée dans le contrat.

11.1.4 *Essais d'investigation*

Les essais d'investigation, qui ont pour but de donner des renseignements complémentaires sur les modalités d'utilisation du convertisseur, peuvent être organisés à la demande spéciale de l'utilisateur ou du constructeur. L'exécution de ces essais n'est exigible que si elle est expressément spécifiée dans le contrat.

Les résultats des essais d'investigation ne sont pas opposables à l'acceptation du matériel et ne peuvent entraîner l'application de pénalités.

11.2 *Essais des convertisseurs directs de courant continu*

Les essais de type, les essais de série et les essais d'investigation des convertisseurs directs de courant continu doivent être effectués conformément aux paragraphes énumérés dans le tableau II et détaillés aux paragraphes 11.3 et 11.4 ci-après.

Tous les essais sont effectués à la température ambiante de l'atelier.

Tous les éléments à semiconducteurs, l'électronique de commande, les inductances, transformateurs, condensateurs et autres composants du convertisseur doivent être soumis aux essais de série conformément aux normes appropriées de la CEI, soit avant, soit après montage dans le convertisseur.

Subject to previous agreement between user and manufacturer some or all of these tests may be repeated from time to time on samples of diodes, thyristor cells or stacks drawn from current production or deliveries, so as to confirm that the quality of the product still meets the requirements specified.

Optional type tests are only to be carried out if they are expressly specified in the contract.

11.1.3 *Routine tests*

Routine tests are carried out to verify that the properties of a product correspond to those measured in the type test. Routine tests shall be performed by the manufacturer, in principle on each one of several devices or items of equipment of the same type.

However, the reports of the manufacturing tests may be recognized as valid by the user and presented to him as a routine test. The user may then check by random sampling the results of the manufacturing tests without having to repeat these tests on every unit.

Optional routine tests are only to be carried out if they are particularly specified in the contract.

11.1.4 *Investigation tests*

Investigation tests, the object of which is to obtain additional information on methods of using the convertor, may be arranged at the special request of the user or manufacturer. The performance of these tests is only required if they are expressly specified in the contract.

The results of investigation tests may not be used as grounds for refusing acceptance of the equipment or to invoke penalties.

11.2 *Tests for direct d.c. convertors*

Type tests, routine tests and investigation tests on direct d.c. convertors shall be carried out in accordance with the sub-clauses given in Table II, and detailed in Sub-clauses 11.3 and 11.4, below.

All tests shall be carried out at the ambient workshop temperature.

All semiconductor assemblies, control electronics, reactors, transformers, capacitors and other components of the direct d.c. convertor shall be subjected to routine tests in accordance with the appropriate IEC standard either before or after assembly into the convertor.

TABLEAU II

Essais des convertisseurs directs de courant continu

Essai	Essai de type	Essai de série	Essai d'investigation	Paragraphe
Essais mécaniques	×			11.3
Essai à faible charge		×		11.4.2
Essai de commutation	×			11.4.3
Essai d'échauffement	×			11.4.4
Plage de tension de sortie	×			11.4.5
Ondulation du courant d'alimentation	×			11.4.6
Ondulation du courant de charge	×			11.4.7
Détermination des pertes			×	11.4.8
Essai de surtension d'alimentation et d'énergie transitoire	×			11.4.9
Essai de court-circuit	×			11.4.10
Essai d'interruption d'alimentation de courte durée	×			11.4.11
Essai d'interruption d'alimentation		×		11.4.12
Essai d'interférence	×			11.4.13
Essai aux ondes de choc	×			11.4.14
Essais des accessoires		×		11.4.16
Essai d'isolement		×		11.4.18

11.3 Essais mécaniques

11.3.1 Essai de refroidissement (essai de type)

Cet essai a pour objet de mesurer le débit du fluide de refroidissement (s'il en existe) traversant les différents organes concernés.

Si le ou les groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs sont incorporés au convertisseur, les essais doivent être effectués en alimentant ce ou ces groupes:

- sous la tension correspondant à la tension assignée U_{LN} ;
- sous la tension correspondant à la tension minimale spécifiée.

Si, au contraire, ces groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs ne font pas partie intégrante du convertisseur, les essais doivent être exécutés avec un groupe ventilateur, pompe ou radiateur approprié dont le débit est réglé de façon à obtenir un flux de fluide refroidissant égal à celui qui est spécifié par le constructeur du convertisseur.

Dans chaque cas, la canalisation originale du fluide de refroidissement ou un modèle équivalent doit être utilisé.

Suivant les cas, des essais doivent aussi être effectués pour vérifier l'efficacité des dispositions adoptées sur le bloc à semiconducteurs pour réduire l'entrée de la poussière, de la neige et de l'eau. Les méthodes visant la réalisation de ces essais doivent faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

11.3.2 Essais de tenue aux vibrations et aux chocs (essais de type)

Le convertisseur complet ou un de ses sous-ensembles, selon accord entre utilisateur et constructeur, muni de ses auxiliaires et de ses accessoires de montage (y compris ses dispositifs amortisseurs, si le convertisseur est prévu pour être monté sur de tels dispositifs) doit être soumis aux essais des paragraphes 11.3.2.1 à 11.3.2.3 ci-après.

Pour les essais des paragraphes 11.3.2.1 et 11.3.2.2, le convertisseur est fixé dans la position convenable sur une machine provoquant des vibrations sinusoïdales d'amplitude et de fréquence réglables.

TABLE II
Tests on direct d.c. convertors

Test	Type test	Routine test	Investigation test	Sub-clause
Mechanical	×			11.3
Light load		×		11.4.2
Commutation	×			11.4.3
Temperature rise	×			11.4.4
Output voltage range	×			11.4.5
Supply ripple	×			11.4.6
Load ripple	×			11.4.7
Power loss determination			×	11.4.8
Supply overvoltage and transient energy	×			11.4.9
Short circuit	×			11.4.10
Short-time interruption	×			11.4.11
Supply interruption		×		11.4.12
Interference	×			11.4.13
Impulse	×			11.4.14
Accessories		×		11.4.16
Insulation		×		11.4.18

11.3 Mechanical tests

11.3.1 Cooling test (type test)

The object of this test is to measure the flow of cooling medium (if any) passing through the various components cooled by that medium.

If the fan, pump or radiator set or sets form part of the direct d.c. convertor, the test shall be carried out with power supplied to the set or sets.

- at the voltage corresponding to the rated voltage U_{LN} ;
- at the voltage corresponding to the minimum voltage specified.

If, however, the fan, pump or radiator sets do not form a part of the direct d.c. convertor, the test shall be carried out with a suitable fan, pump or radiator set, the delivery from which shall be adjusted so as to obtain a flow of cooling medium equal to that specified by the manufacturer of the direct d.c. convertor.

In either case the original cooling medium channel or an equivalent model shall be used.

If necessary, tests shall also be carried out to check the effectiveness of the means provided on the semiconductor assembly to reduce the intake of dust, snow and water. The method of performing these tests shall be agreed upon between user and manufacturer.

11.3.2 Tests for withstanding vibrations and shocks (type tests)

The complete direct d.c. convertor or one of its sub-assemblies as agreed upon between user and manufacturer, together with its mounting arrangements and auxiliaries (including shock absorbing devices, if the direct d.c. convertor is designed for mounting on such devices) shall be subjected to the tests in Sub-clauses 11.3.2.1 to 11.3.2.3, below.

For the tests in Sub-clauses 11.3.2.1 and 11.3.2.2, the direct d.c. convertor shall be secured in a suitable position to a machine producing vibrations of sinusoidal form with adjustable amplitude and frequency.

11.3.2.1 Recherche des fréquences de résonance

En vue de rechercher l'existence éventuelle de fréquences critiques provoquant des résonances, on fait varier progressivement la fréquence dans toute la gamme indiquée au paragraphe 3.1.3, et cela dans un temps au moins égal à 4 min, l'amplitude des oscillations étant celle qui est indiquée en fonction de la fréquence.

11.3.2.2 Essais de vibrations soutenues

Le convertisseur est ensuite soumis, pendant un temps à fixer par accord entre utilisateur et constructeur mais non inférieur à 15 min, à un essai de vibrations soutenues:

- soit à la fréquence critique, si une telle fréquence bien caractérisée a été détectée au cours de l'essai du paragraphe 11.3.2.1;
- soit à la fréquence de 10 Hz dans le cas contraire.

Dans les deux cas, l'amplitude de la table vibrante est réglée à la valeur correspondant à la fréquence considérée (voir paragraphe 3.1.3).

Après accord entre utilisateur et constructeur, le convertisseur peut être soumis, à titre d'investigation, à un essai de vibrations soutenues pendant une durée plus longue (25 h à 50 h).

11.3.2.3 Essais simulant l'effet des coups de tampon

Dans la direction correspondant au déplacement longitudinal du véhicule sur lequel il sera monté, le convertisseur doit être soumis à une série de trois chocs successifs, correspondant chacun à une accélération maximale de 30 m/s^2 .

11.3.2.4 Résultats des essais

Les essais sont considérés comme satisfaisants s'ils ne donnent lieu à aucune détérioration ni à aucun fonctionnement anormal. Le convertisseur ainsi essayé doit pouvoir subir avec succès les essais électriques et, en particulier, les épreuves d'isolement prévues.

11.3.3 Essai d'émission de bruit (essai de type)

Le niveau de bruit audible doit être mesuré en vue de s'assurer qu'il ne dépasse pas la valeur spécifiée au paragraphe 10.4.6.

Sauf accord contraire, le niveau de bruit émis par le convertisseur direct de courant continu doit être mesuré à une distance horizontale de 1 m du coffre du convertisseur.

11.4 Essais électriques

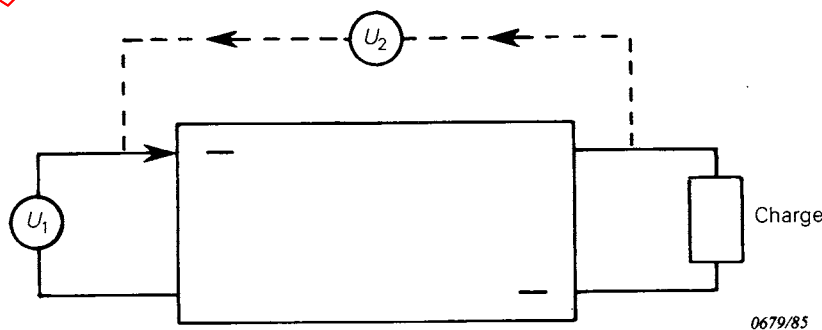


FIG. 7. — Convertisseur direct de courant continu en essai.

11.3.2.1 Determination of resonant frequencies

In order to determine the possible existence of critical frequencies producing resonance, the frequency shall be varied progressively over the whole range mentioned in Sub-clause 3.1.3 within a time of not less than 4 min, the amplitude of the oscillations being that indicated as a function of the frequency.

11.3.2.2 Tests with forced vibrations

The direct d.c. convertor is next subjected to a test with forced vibrations for a time, not less than 15 min, to be agreed upon between user and manufacturer:

- either at the critical frequency, if any such well-defined frequency has been detected in the course of the test of Sub-clause 11.3.2.1;
- otherwise at a frequency of 10 Hz.

In both cases, the amplitude of the vibrating table is adjusted to the value corresponding to the frequency concerned (see Sub-clause 3.1.3).

Subject to agreement between user and manufacturer, as an investigation test, the direct d.c. convertor may be subjected to forced vibrations for a longer period (25 h to 50 h).

11.3.2.3 Tests to simulate the effect of shunting shocks

In the direction corresponding to the longitudinal movement of the vehicle on which it is to be mounted, the direct d.c. convertor shall be subjected to a series of three successive shocks each corresponding to a maximum acceleration of 30 m/s^2 .

11.3.2.4 Results of tests

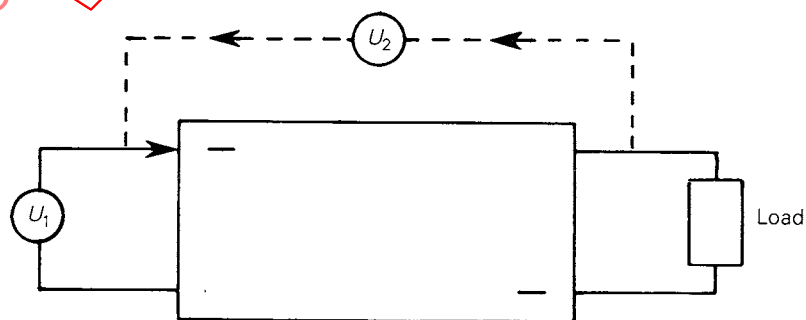
The tests are considered to be satisfactory, if there is no resulting damage or abnormality in operation. The direct d.c. convertor so tested shall be able to successfully withstand the electrical tests and, in particular, the insulation test.

11.3.3 Noise emission test (type test)

The audible noise level shall be measured in order to make sure that it does not exceed the value as specified in Sub-clause 10.4.6.

Unless agreed otherwise, the level of audible noise emitted by the direct d.c. convertor shall be measured at a horizontal distance of 1 m from the convertor case.

11.4 Electrical tests



0679/85

FIG. 7. — Direct d.c. convertor on test.

11.4.1 Schéma du circuit d'essai

Les essais décrits aux paragraphes ci-après peuvent être exécutés en utilisant le circuit d'essai de la figure 7, page 50. Le circuit représenté est relatif à l'essai d'un convertisseur simple, mais peut être considéré comme une représentation d'un essai de convertisseur multiple.

Le circuit d'essai de la figure 7 est simplement un exemple du circuit pouvant être utilisé pour l'exécution des essais en question. Conjointement aux descriptions d'essais, il a pour but de servir de base à un accord mutuel entre utilisateur et constructeur au moment des essais de l'équipement.

Après accord entre utilisateur et constructeur, les essais du convertisseur direct de courant continu peuvent être effectués sur le véhicule terminé.

Le circuit d'essai comporte deux sources à tension continue variable, U_1 et U_2 , faisant normalement partie de l'équipement d'essai de l'atelier. U_1 est une source d'alimentation de puissance extérieure. La charge peut être un moteur, une inductance ou une résistance. La puissance récupérée (ou une partie de cette puissance), représentée par U_2 , peut être renvoyée sur l'entrée du convertisseur direct de courant continu en essai par un hacheur ou une génératrice couplée avec le moteur utilisé comme charge.

11.4.2 Essai à faible charge (essai de série)

L'essai a pour but de vérifier que le convertisseur direct de courant continu est branché correctement et que sa commande statique est bien conforme aux prescriptions.

Au cours de l'essai, la tension d'alimentation doit être maintenue à sa valeur assignée. La tension de sortie et la fréquence, les signaux appropriés de commande et de contrôle ainsi que l'intervalle de suppression doivent être observés afin de vérifier le branchement et le fonctionnement corrects de l'appareil.

On choisit une résistance de charge produisant un courant de charge d'environ 10% de la valeur assignée.

Le fonctionnement des dispositifs de protection et d'alarme doit être vérifié au cours de cet essai.

L'essai à faible charge doit être effectué en traction aussi bien qu'en freinage, si nécessaire.

11.4.3 Essai de commutation (essai de type)

Cet essai a pour but de vérifier que la commutation du convertisseur s'effectue correctement pour le courant instantané maximal.

Les bornes d'entrée du hacheur sont connectées à une source dont la tension est égale à la tension d'entrée minimale. Le courant de sortie doit être réglé de façon à obtenir le courant instantané maximal.

Pendant l'essai, les paramètres de fonctionnement du convertisseur (en particulier l'intervalle de suppression) doivent être vérifiés. L'intervalle de suppression ne doit pas être inférieur à la valeur assignée spécifiée pour cette séquence de fonctionnement.

Note. — D'un commun accord entre utilisateur et constructeur, cet essai peut être remplacé par une simulation sur ordinateur établie par le constructeur.

11.4.4 Essai d'échauffement (essai de type)

Dans le cas de convertisseurs de très grande puissance, les valeurs appropriées de température peuvent être déterminées par des essais sur des portions de circuit et par le calcul, ou par simulation et calcul ou uniquement par accord entre utilisateur et constructeur.

Dans les conditions d'essai décrites au paragraphe 11.4.1, on fait varier le courant de convertisseur selon le cycle de service spécifié. Si aucun cycle de service n'a été spécifié, l'intensité et la durée du courant sont choisies conformément à la feuille de spécification.