

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD**

**Publication 411-3**

Première édition – First edition

1982

---

**Convertisseurs de puissance pour la traction**

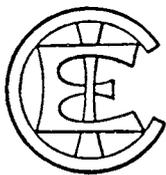
**Troisième partie: Convertisseurs auto-commutés pour la traction monophasée**

---

**Power converters for electric traction**

**Part 3: Self-commutated converters for single-phase traction**

---



© CEI 1982

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 (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., 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 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 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 (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. 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 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, 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 411-3**

Première édition — First edition  
1982

---

**Convertisseurs de puissance pour la traction**  
**Troisième partie: Convertisseurs auto-commutés pour la traction monophasée**

---

**Power converters for electric traction**  
**Part 3: Self-commutated converters for single-phase traction**

---



© CEI 1982

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 Varembe  
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
4. Définitions des caractéristiques côté ligne . . . . .	12

### SECTION DEUX – THYRISTORS, DIODES ET ÉLÉMENTS À SEMICONDUCTEURS

5. Généralités . . . . .	16
--------------------------	----

### SECTION TROIS – TRANSFORMATEURS ET BOBINES D'INDUCTANCE POUR CONVERTISSEURS DE TRACTION

6. Généralités . . . . .	16
7. Essais des transformateurs . . . . .	18
8. Essais des inductances . . . . .	20

### SECTION QUATRE – GROUPES ET BLOCS CONVERTISSEURS

9. Définitions . . . . .	22
10. Configurations des convertisseurs autocommutés pour la traction . . . . .	34
11. Redresseur autocommuté . . . . .	36
12. Onduleur autocommuté . . . . .	42
13. Convertisseur autocommuté direct de courant alternatif . . . . .	46
14. Convertisseur autocommuté indirect de courant alternatif . . . . .	48
15. Essais des convertisseurs . . . . .	48

---

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5

### SECTION ONE – GENERAL

Clause

1. Scope . . . . .	7
2. Reference to various IEC publications . . . . .	7
3. Service conditions . . . . .	9
4. Definitions of line-side characteristics . . . . .	13

### SECTION TWO – SEMICONDUCTOR THYRISTORS, DIODES AND STACKS

5. General . . . . .	17
----------------------	----

### SECTION THREE – CONVERTOR TRACTION TRANSFORMERS AND REACTORS

6. General . . . . .	17
7. Tests on transformers . . . . .	19
8. Tests on reactors . . . . .	21

### SECTION FOUR – CONVERTOR EQUIPMENT AND ASSEMBLIES

9. Definitions . . . . .	23
10. Configurations of self-commutated traction convertors . . . . .	35
11. Self-commutated rectifier . . . . .	37
12. Self-commutated inverter . . . . .	43
13. Self-commutated direct a.c. convertor . . . . .	47
14. Self-commutated indirect a.c. convertor . . . . .	49
15. Tests on convertors . . . . .	49

---

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

**CONVERTISSEURS DE PUISSANCE POUR LA TRACTION**

**Troisième partie: Convertisseurs autocommutés pour la traction monophasée**

---

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 de puissance pour le matériel roulant, du Comité d'Etudes n° 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le projet, document 22D(Bureau Central)13, fut discuté lors de la réunion tenue à La Haye en 1975, puis soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en décembre 1976.

Des modifications, document 22D(Bureau Central)17, furent discutées lors de la réunion tenue à Varsovie en 1978 puis soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1978.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Egypte	Royaume-Uni
Espagne	Suède
France	Suisse
Hongrie	Turquie
Italie	

---

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**POWER CONVERTORS FOR ELECTRIC TRACTION****Part 3: Self-commutated convertors for single-phase traction**

## 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: Power Convertors for Electric Rolling Stock, of IEC Technical Committee No. 22: Power Electronics.

The draft, Document 22D(Central Office)13, was discussed at the meeting held in The Hague in 1975, and submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in December 1976.

Amendments, Document 22D(Central Office)17, were discussed at the meeting held in Warsaw in 1978 and submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1978.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium  
Egypt  
France  
Germany  
Hungary  
Italy  
Japan  
Netherlands

Poland  
South Africa (Republic of)  
Spain  
Sweden  
Switzerland  
Turkey  
United Kingdom

## CONVERTISSEURS DE PUISSANCE POUR LA TRACTION

### Troisième partie: Convertisseurs autocommutés pour la traction monophasée

#### SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

##### 1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux convertisseurs à semiconducteurs autocommutés, destinés à l'équipement des véhicules monophasés de traction dont la fréquence nominale d'alimentation est comprise entre 15 Hz et 60 Hz. Elle concerne les convertisseurs de types ci-après:

- redresseur;
  - convertisseur direct de courant alternatif (cycloconvertisseur);
  - convertisseur indirect de courant alternatif (onduleur associé à un redresseur),
- destinés à l'alimentation des circuits de traction des véhicules.

En principe, cette norme s'applique également aux convertisseurs destinés à l'alimentation des services auxiliaires des véhicules de traction.

*Note.* — Selon accord entre constructeur et utilisateur, cette norme peut aussi s'appliquer aux convertisseurs autocommutés des véhicules thermo-électriques ou des véhicules polycourant.

##### 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 sont pas modifiés par les articles de la présente norme.

Publication 50(551): Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), Chapitre 551: Electronique de puissance.

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

Publication 146: Convertisseurs à semiconducteurs.

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

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

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

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

Publication 349: Règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers.

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

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

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

## POWER CONVERTORS FOR ELECTRIC TRACTION

### Part 3: Self-commutated convertors for single-phase traction

#### SECTION ONE — GENERAL

##### 1. Scope

This standard applies to self-commutated semiconductor power convertors intended for service on single-phase rolling stock supplied with current of rated frequency between 15 Hz and 60 Hz. It covers the following types of convertors:

- rectifier;
- a.c. direct convertor (cycloconvertor);
- a.c. indirect convertor (inverter with rectifier),

when intended for supplying traction vehicle circuits.

In principle, this standard also applies to convertors for supplying the auxiliary services on traction vehicles.

*Note.* — If agreed between manufacturer and user, this standard may also apply to self-commutated convertors on thermo-electric vehicles or multi-system vehicles.

##### 2. Reference to various IEC publications

Except where modified by clauses in the present standard, clauses in the following IEC publications are applicable to the convertors forming the subject of this standard.

Publication 50(551): International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 551: Power Electronics.

Publication 77: Rules for Electric Traction Equipment.

Publication 146: Semiconductor Convertors.

Publication 146-2: Part 2: Semiconductor Self-commutated Convertors.

Publication 146-3: Part 3: Semiconductor Direct D.C. Convertors (D.C. Chopper Convertors).

Publication 165: Rules for the Testing of Electric Rolling Stock on Completion of Construction and before Entry into Service.

Publication 310: Rules for Traction Transformers and Reactors.

Publication 349: Rules for Rotating Electrical Machines for Rail and Road Vehicles.

Publication 411: Single-phase Traction Power Convertors.

Publication 411-1: Power Convertors for Electric Traction, Part 1: Single-phase Power Convertors using Thyristors.

Publication 571: Rules for Electronic Equipment Used on Rail Vehicles.

### 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 normalement, 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  $-25^{\circ}\text{C}$  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:

- 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:

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

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

- que les accélérations maximales des chocs sont:
  - horizontalement (dans le sens de déplacement du véhicule)  $30 \text{ m/s}^2$ ;
  - latéralement  $20 \text{ m/s}^2$ ;
  - verticalement  $10 \text{ m/s}^2$ .

##### 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.

##### 3.1.5 Caractéristiques du réseau à courant alternatif

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

Sauf accord particulier entre constructeur et utilisateur, il est admis que la tension côté ligne du réseau de traction est sinusoïdale (voir paragraphe 4.2) lorsque le convertisseur est déconnecté.

*Note.* — Si la tension du réseau à courant alternatif n'est pas rigoureusement sinusoïdale, même comprise dans les limites du paragraphe 4.2, la valeur mesurée de la tension continue peut être différente de la valeur calculée.

### 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 shall not exceed 1 200 m.

##### 3.1.2 Temperature

In the absence of information on the ambient temperatures in which the equipment is normally to function, it is to be assumed that these lie between  $-25^{\circ}\text{C}$  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 shocks, to which the convertor and its mounting arrangements are likely to be subjected in service, it is to be assumed:

- that the vibration is of sine-wave form, 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:

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

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

- that the maximum accelerations of shocks are:
  - horizontally (in the direction of motion of the vehicle)  $30 \text{ m/s}^2$ ;
  - transversely  $20 \text{ m/s}^2$ ;
  - vertically  $10 \text{ m/s}^2$ .

##### 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 component, the nature of load shall always be specified.

##### 3.1.5 A.C. system characteristics

###### 3.1.5.1 Waveform of the a.c. line voltage

Unless otherwise agreed between manufacturer and user, line-side voltage of the traction system shall be assumed to be sinusoidal (see Sub-clause 4.2), when the convertor is switched off.

*Note.* — If the a.c. line voltage is not perfectly sinusoidal even though within the limits specified in Sub-clause 4.2, the measured value of the convertor d.c. voltage may deviate from the calculated value.

### 3.1.5.2 Variation de la tension alternative en ligne

Conformément à la Publication 349 de la CEI, il est admis que la tension de la ligne se maintient dans les limites suivantes:

*Tension (en volts)*

	Minimale instantanée	La plus basse	Nominale $U_{LN}$	La plus élevée
Réseaux à courant monophasé: à 50 ou 60 Hz	4 500 17 500	4 750 19 000	6 250* 25 000	6 900 27 500
à 16⅔ Hz	11 000	12 000	15 000	17 250

\* Il est recommandé de n'utiliser la tension de 6 250 V que lorsque les conditions locales rendent impossible l'adoption de la tension de 25 000 V.

### 3.1.5.3 Surtensions en ligne

Des surtensions supplémentaires de courte durée dues aux influences atmosphériques ou à des ouvertures ou fermetures de circuits peuvent se produire. Les valeurs maximales et les durées de ces surtensions doivent être spécifiées par l'utilisateur.

### 3.1.5.4 Impédance du réseau à courant alternatif

Puisque l'impédance du réseau alternatif influe sur les caractéristiques de fonctionnement d'un convertisseur et varie avec la position du véhicule, les valeurs maximales et minimales de cette impédance doivent être spécifiées par l'utilisateur.

### 3.1.5.5 Variation de la fréquence du réseau à courant alternatif

La fréquence du réseau peut varier:

- de 16⅓ Hz à 17 Hz pour les réseaux à 16⅔ Hz;
- de 49 Hz à 51 Hz pour les réseaux à 50 Hz;
- de 59 Hz à 61 Hz pour les réseaux à 60 Hz.

pour autant qu'aucune autre valeur n'ait été convenue entre constructeur et utilisateur.

Pour les autres fréquences, les variations admissibles doivent être fixées par accord entre constructeur et utilisateur.

## 3.2 Conditions spéciales

Des dispositions particulières fixées par accord entre constructeur et utilisateur doivent être prises lorsque les conditions diffèrent de celles mentionnées aux paragraphes 3.1.1 à 3.1.3, par exemple:

- altitude supérieure à 1 200 m;
- température ambiante supérieure à 40 °C;

### 3.1.5.2 A.C. line voltage variations

In accordance with IEC Publication 349, it is assumed that the line voltage remains within the following limits:

*Voltage (in volts)*

	Instantaneous minima	Lowest	Nominal $U_{LN}$	Highest
A.C. single-phase systems: at 50 or 60 Hz	4 500 17 500	4 750 19 000	6 250* 25 000	6 900 27 500
at 16 $\frac{2}{3}$ Hz	11 000	12 000	15 000	17 250

\* It is recommended that the voltage of 6 250 V should be used only when local conditions make it impossible for the voltage of 25 000 V to be adopted.

### 3.1.5.3 Line overvoltages

Additional short time overvoltages due to atmospheric influences or switching operations may occur. The maximum values and durations of these overvoltages are to be stated by the user.

### 3.1.5.4 A.C. system impedance

Since the a.c. system impedance affects the performance characteristics of a converter equipment and varies with the position of the vehicle, the maximum and minimum values of this impedance shall be specified by the user.

### 3.1.5.5 A.C. line frequency variation

A.C. line frequency may vary:

- from 16 $\frac{1}{6}$  Hz to 17 Hz for 16 $\frac{2}{3}$  Hz systems;
- from 49 Hz to 51 Hz for 50 Hz systems;
- from 59 Hz to 61 Hz for 60 Hz systems.

provided that no other value has been agreed between manufacturer and user.

For other frequencies, permissible variations shall be defined by agreement between manufacturer and user.

## 3.2 Special conditions

Special arrangements shall be agreed between manufacturer and user when conditions differ from those mentioned in Sub-clauses 3.1.1 to 3.1.3, for example:

- altitude exceeding 1 200 m;
- ambient temperature above 40 °C;

- température minimale inférieure à  $-25^{\circ}\text{C}$ ;
- température moyenne élevée conjuguée avec une forte humidité de l'air;
- pluies torrentielles, tempêtes de sable ou de neige, etc.

La vérification de l'efficacité des dispositions ainsi arrêtées pourra faire éventuellement l'objet d'essais de type facultatifs, pouvant être effectués sur le véhicule lui-même suivant modalités à fixer par accord entre constructeur et utilisateur.

#### 4. Définitions des caractéristiques côté ligne

##### 4.1 Généralités

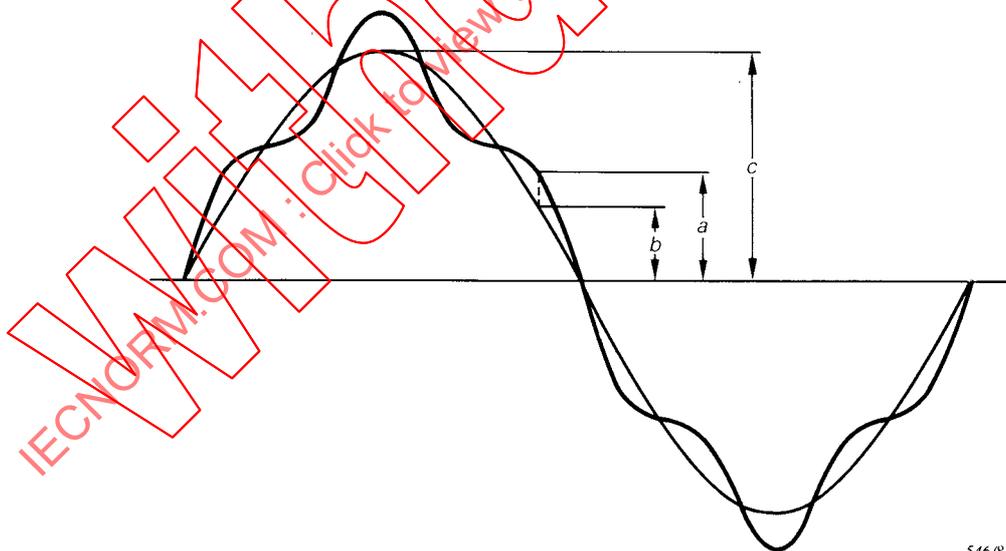
Pour les véhicules de traction électrique, non seulement la consommation d'énergie active mais aussi celle d'énergie réactive et les réactions de la ligne sont normalement d'un grand intérêt. Les définitions suivantes sont applicables pour désigner ces actions réciproques.

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

La forme d'onde d'une tension est considérée comme sinusoïdale dans la présente norme si la valeur maximale de la différence  $(a - b)$ , indiquée sur la figure 1,  $b$  étant la valeur instantanée de l'onde fondamentale, ne dépasse pas 10% de la valeur de crête  $c$  de l'onde fondamentale, c'est-à-dire une valeur:

$$|a - b| \leq 0,10 c$$

*Note.* — Il convient de fixer, par accord entre constructeur et utilisateur, la méthode de mesure de la forme d'onde de la tension côté ligne.



546/82

FIGURE 1

##### 4.3 Facteur de déphasage

Cosinus de l'angle de déphasage entre la composante fondamentale de la tension et celle du courant, du côté courant alternatif, voir l'exemple donné à la figure 2, page 14.

- minimum temperature below  $-25^{\circ}\text{C}$ ;
- high average temperature plus high air humidity;
- torrential rain, sandstorms, snowstorms, etc.

A check on the effectiveness of such arrangements could, if required, form the subject of optional type tests which could be carried out on the vehicle itself in accordance with methods to be agreed between manufacturer and user.

#### 4. Definitions of line-side characteristics

##### 4.1 General

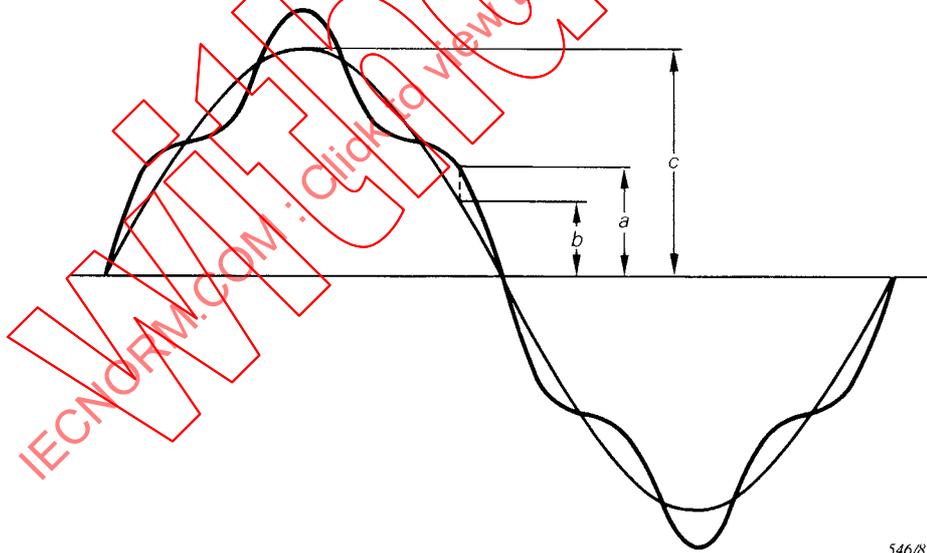
For electric traction vehicles not only the active power consumption but also the reactive power and the line reactions are normally of main interest. In describing these relationships the following definitions apply.

##### 4.2 Waveform of the a.c. line voltage

The waveform of a voltage is considered sinusoidal in this standard, if the largest deviation ( $a - b$ ) in Figure 1 from the instantaneous value  $b$  of the fundamental wave, does not exceed 10% of the crest value  $c$  of the fundamental wave, that is:

$$|a - b| \leq |0.10c|$$

*Note.* — The method of measurement of the line-side voltage waveform should be agreed between manufacturer and user.



546/82

FIGURE 1

##### 4.3 Displacement factor

The cosine of the displacement angle between the fundamental components of voltage and current on the a.c. side; for example see Figure 2, page 15.

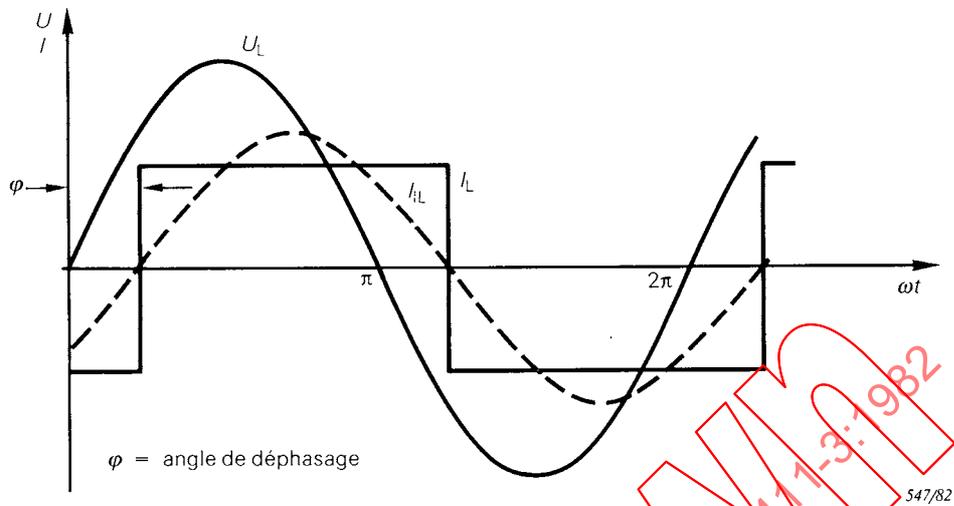


FIGURE 2

4.4 *Résidu harmonique* (V.E.I. 551-06-06)

Grandeur obtenue en retranchant d'une grandeur alternative la composante fondamentale. Voir l'exemple donné à la figure 3.

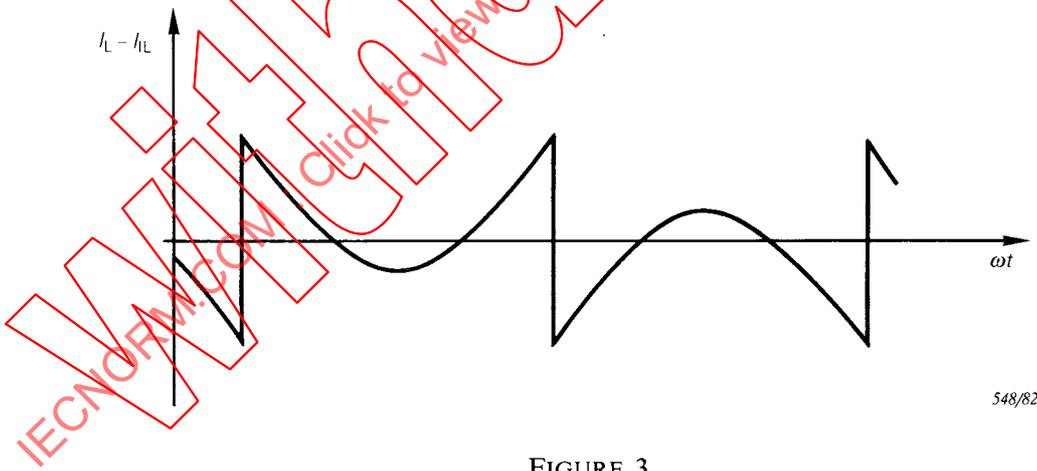


FIGURE 3

4.5 *Composantes en harmoniques*

Composantes du résidu  $I_{nL}$ ,  $1 < n \leq \infty$ , exprimées en fonction de l'ordre et des valeurs efficaces des termes de la série de Fourier qui décrit la fonction périodique.

4.6 *Résidu relatif*

Rapport entre la valeur efficace du résidu et la valeur efficace de la fonction périodique non sinusoïdale totale.

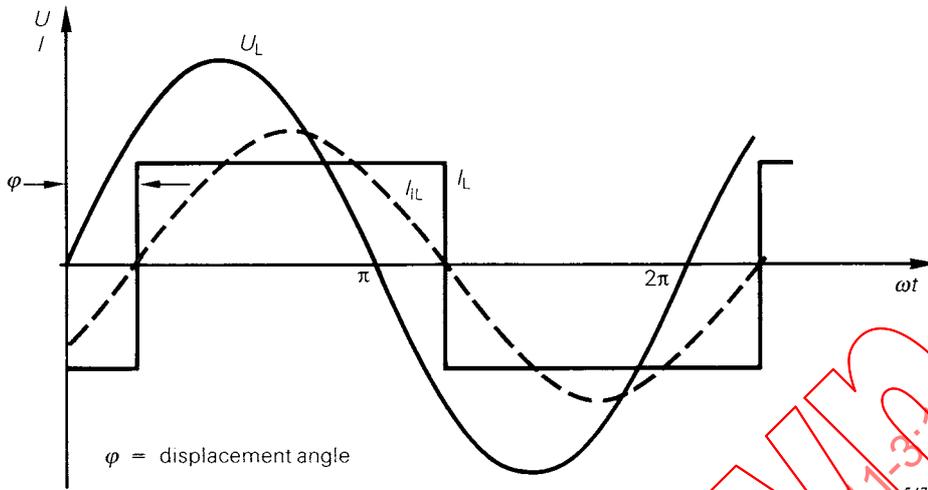


FIGURE 2

4.4 Harmonic content (I.E.V. 551-06-06)

The quantity obtained by subtracting the fundamental component from an alternating quantity, for example, see Figure 3.

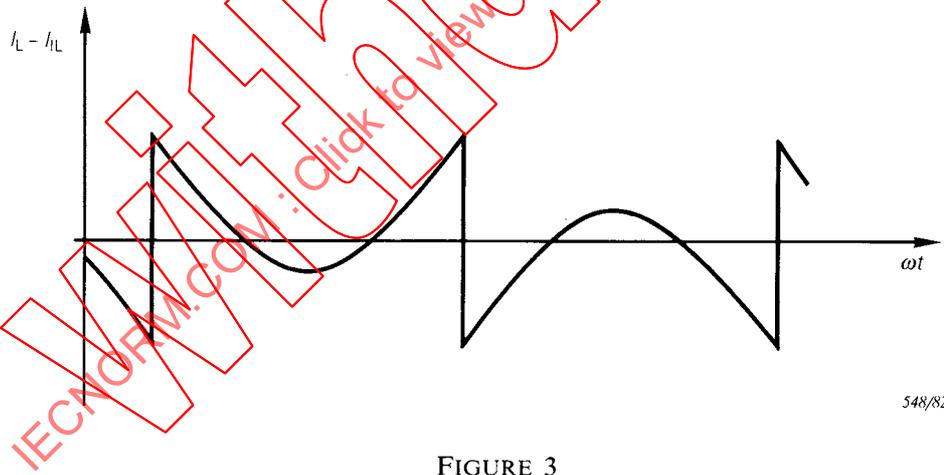


FIGURE 3

4.5 Harmonic components

The components of the harmonic content  $L_{nL}$ ,  $1 < n \leq \infty$  as expressed in terms of the order and the r.m.s. value of the Fourier series terms describing the periodic function.

4.6 Relative harmonic content

The ratio of the r.m.s. value of the harmonic content to the r.m.s. value of the total non-sinusoidal periodic function.

$$\text{Résidu relatif} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_{nL}^2}{\sum_{n=1}^{\infty} I_{nL}^2}}$$

#### 4.7 Taux fondamentale (V.E.I. 551-06-08)

Rapport entre la valeur efficace de la composante fondamentale à la valeur efficace de la grandeur alternative.

#### 4.8 Facteur de puissance

Rapport entre la puissance active totale et la puissance apparente, côté alternatif:  $\lambda = P/S$ .

#### 4.9 Courant perturbateur

*Note.* — Les véhicules électriques à convertisseurs peuvent provoquer des perturbations dans les réseaux de télécommunications ou de signalisation. Les définitions concernant le courant perturbateur doivent faire l'objet d'accords entre constructeur et utilisateur. En ce qui concerne les réseaux de télécommunications, on utilisera de préférence les définitions du C.C.I.T.T. (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique).

## SECTION DEUX — THYRISTORS, DIODES ET ÉLÉMENTS À SEMICONDUCTEURS

### 5. Généralités

Les diodes et thyristors pour convertisseurs traités par la présente norme doivent répondre aux conditions spécifiées au chapitre III de la Publication 411 de la CEI et dans l'annexe de la Publication 411-1 de la CEI. Les essais des dispositifs à semiconducteurs doivent être exécutés comme indiqué dans ces publications. Toutefois les essais n'ont pas besoin d'être répétés si les dispositifs sont identiques ou similaires à des dispositifs qui ont été précédemment essayés.

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

### 6. Généralités

Les règles de la présente section s'appliquent seulement aux caractéristiques par lesquelles les transformateurs et les inductances des convertisseurs de traction diffèrent des transformateurs et des inductances de traction ordinaires. Sur tous les autres points, les règles spécifiées dans la Publication 310 de la CEI doivent être appliquées aux transformateurs et aux inductances de convertisseurs.

Les régimes continus des divers enroulements du transformateur doivent être déterminés par le constructeur, conformément aux prescriptions de l'article 6 de la Publication 310 de la CEI, en prenant en considération le cycle de service spécifié pour le véhicule, la charge des enroulements auxiliaires et la déformation de l'onde imputable au lissage et à l'angle d'empîement, suivant accord entre constructeur et utilisateur.

$$\text{Relative harmonic content} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_{nL}^2}{\sum_{n=1}^{\infty} I_{nL}^2}}$$

#### 4.7 *Relative fundamental content* (I.E.V. 551-06-08)

The ratio of the r.m.s. value of the fundamental component to the r.m.s. value of the alternating quantity.

#### 4.8 *Power factor*

The ratio of the total active power to the apparent power on the a.c. side  $\lambda = P/S$ .

#### 4.9 *Interference current*

*Note.* — Converter electric vehicles may cause disturbance to telecommunication systems or signalling systems. The definitions concerning interference current shall be agreed upon between manufacturer and user. Concerning telecommunication systems the definitions of C.C.I.T.T. (International Telephone and Telegraph Consultative Committee), should be used in preference.

## SECTION TWO — SEMICONDUCTOR THYRISTORS, DIODES AND STACKS

### 5. **General**

Diodes and thyristors for converters covered by this standard shall meet the requirements specified in Chapter III of IEC Publication 411 and the appendix of IEC Publication 411-1. Test on semiconductor devices shall be performed as indicated therein. However, tests need not be repeated, if the devices are identical with or similar to ones previously tested.

## SECTION THREE — CONVERTOR TRACTION TRANSFORMERS AND REACTORS

### 6. **General**

These rules relate only to those characteristics wherein convertor traction transformers and reactors differ from ordinary traction transformers and reactors. In other respects, the rules specified in IEC Publication 310 shall apply also to convertor transformers and reactors.

The continuous ratings of the various transformer windings shall be determined by the manufacturer in accordance with the requirements of Clause 6 of IEC Publication 310, taking into account the duty cycle specified for the vehicle, the load on the auxiliary windings and the wave distortion produced by smoothing and the angle of overlap, as may be agreed between manufacturer and user.

## 7. Essais des transformateurs

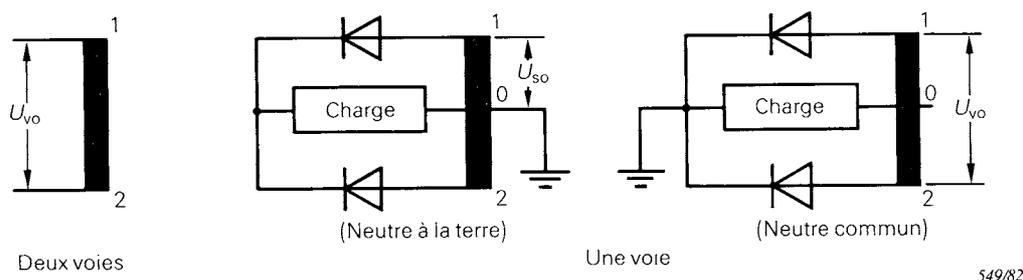


FIG. 4. — Schémas des enroulements côté cellules.

### 7.1 Généralités

Les essais et mesures à effectuer sur les transformateurs de convertisseurs ainsi que leurs modalités d'exécution sont ceux prévus dans la Publication 310 de la CEI, sous réserve des modifications et compléments indiqués dans les paragraphes 7.2 à 7.5 de la présente norme.

### 7.2 Mesure des tensions de court-circuit (essai de type)

Les essais de type et de série effectués comme indiqué dans la Publication 310 de la CEI doivent être complétés, le cas échéant, par les essais de type ci-après:

7.2.1 Dans le cas de plusieurs enroulements indépendants côté cellules, les tensions de court-circuit doivent être mesurées entre chaque paire d'enroulements.

7.2.2 Dans le cas de montages à une voie, les tensions de court-circuit doivent être mesurées aux bornes de l'enroulement côté ligne, en établissant successivement le court-circuit entre les bornes 0 et 1, 0 et 2, puis entre les bornes 1 et 2 de l'enroulement côté cellules (voir figure 4).

Ces mesures doivent être effectuées seulement sur la prise principale.

### 7.3 Détermination des pertes totales (essai de type)

Les calculs doivent être exécutés conformément aux prescriptions de la Publication 310 de la CEI.

Dans le cas de plusieurs enroulements indépendants côté cellules, la mesure des pertes doit être effectuée avec tous les enroulements côté cellules connectés de façon à simuler les conditions en fonctionnement.

Dans le cas de montages à une voie, les pertes doivent être prises égales à la demi-somme des pertes relevées lorsque le court-circuit est établi successivement entre les bornes 0 et 1, puis 0 et 2 (voir figure 4).

### 7.4 Essais d'échauffement (essais de type)

Ces essais ne peuvent être exécutés qu'après installation du transformateur dans le convertisseur auquel il est destiné ou dans un appareil spécialement étudié à cet effet.

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 d'échauffement doit être exécutée en utilisant un ou plusieurs couples thermoélectriques.

*Note.* — Les essais d'échauffement des transformateurs sont normalement effectués à l'occasion de l'essai d'échauffement du convertisseur, voir paragraphe 15.2.6.

## 7. Tests on transformers

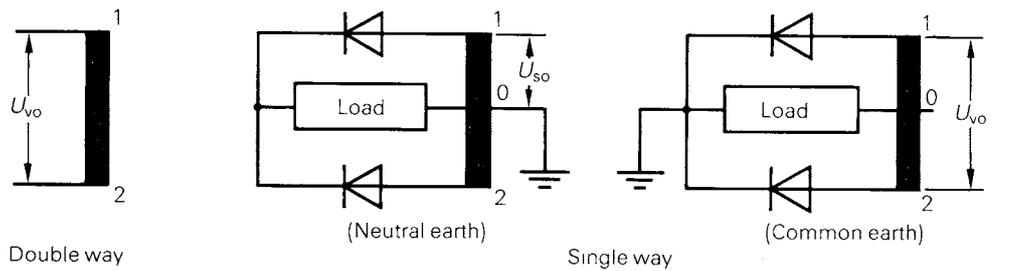


FIG. 4. — Diagrams of the cell-side windings.

549/82

### 7.1 General

The tests and measurements and their methods of performance to be applied to converter transformers are those specified in IEC Publication 310 except for the modifications or additions given in Sub-clauses 7.2 to 7.5 of this standard.

### 7.2 Measurement of impedance voltages (type test)

The scope of the type and routine tests carried out as stated in IEC Publication 310 shall be enlarged where necessary by the following type tests:

- 7.2.1 In the case of several independent cell windings, impedance voltages shall be measured between each pair of windings.
- 7.2.2 In the case of single-way connection, the impedance voltages shall be measured at the terminals of the line winding, the short-circuit being established successively between terminals 0 and 1, 0 and 2 and between terminals 1 and 2 of the cell winding (see Figure 4).

The measurements shall be taken at the principal tap only.

### 7.3 Determination of total losses (type test)

Calculations shall be made according to the requirements of IEC Publication 310.

In the case of several independent cell windings, the losses shall be measured with all cell windings connected to simulate the operating conditions.

In the case of single-way connection the losses shall be taken as half the sum of the losses recorded, when the short circuit is established between terminals 0 and 1, 0 and 2 successively (see Figure 4).

### 7.4 Temperature-rise tests (type tests)

These tests can be performed only when the transformer is fitted in the converter for which it has been designed or in an apparatus specially designed for the purpose.

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 transformers are normally performed in connection with the temperature-rise test of the converter, see Sub-clause 15.2.6.

### 7.5 Essais d'isolement (essais de série)

Ces essais doivent être effectués conformément aux prescriptions de l'article 26 de la Publication 310 de la CEI.

Toutefois, la tension d'essai à appliquer aux enroulements côté cellules doit être celle donnée dans le tableau I.

TABLEAU I

Montages		
Une voie		Deux voies
Neutre à la terre	Neutre commun	
$2,25 U_{s0} + 2000 \text{ V}$	$2,25 U_{v0} + 2000 \text{ V}$	$2,25 U_{v0} + 2000 \text{ V}$
$U_{s0}$ et $U_{v0}$ étant les tensions définies à la figure 4, page 18		

## 8. Essais des inductances

### 8.1 Généralités

Les essais et mesures à effectuer sur les inductances ainsi que leurs modalités d'exécution sont ceux prévus dans la Publication 310 de la CEI, sous réserve des modifications et compléments indiqués dans les paragraphes 8.2 à 8.4 de la présente norme.

### 8.2 Mesure de l'inductance (essai de type)

Les essais de type et de série effectués comme indiqué dans la Publication 310 de la CEI doivent, dans le cas des inductances de lissage à noyau de fer, être complétés par l'essai de type ci-après.

La méthode de mesure de l'inductance doit tenir compte de l'ondulation du courant superposé au courant continu. Cette méthode doit être déterminée par accord entre constructeur et utilisateur.

L'inductance doit être mesurée en fonction de la valeur moyenne du courant, dans tout le domaine d'utilisation de l'inductance.

Sur l'inductance ayant satisfait à l'essai de type ci-dessus, on doit relever l'impédance et l'inductance en courant alternatif, à une fréquence industrielle convenue, pour plusieurs valeurs du courant telles que la tension ne puisse atteindre des valeurs dangereuses. Le constructeur et l'utilisateur se mettront alors d'accord sur le choix d'un point de la courbe impédance/courant ainsi obtenue: ce point sera adopté comme base pour les essais de série ultérieurs.

### 8.3 Essais d'échauffement (essais de type)

Ces essais ne peuvent être exécutés qu'après installation de l'inductance dans le convertisseur auquel elle est destinée ou dans un appareil spécialement étudié à cet effet.

Certaines inductances 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 effectuée en utilisant un ou plusieurs couples thermoélectriques.

*Note.* — Les essais d'échauffement des inductances sont normalement effectués à l'occasion de l'essai d'échauffement du convertisseur, voir le paragraphe 15.2.6.

### 7.5 Insulation test (routine test)

These tests shall be carried out in accordance with the requirements specified in Clause 26 of IEC Publication 310.

However, the test voltage to be applied to the cell-side windings shall be that given in Table I.

TABLE I

Connections		
Single way		Double way
Neutral earth	Common earth	
$2.25 U_{so} + 2000 \text{ V}$	$2.25 U_{vo} + 2000 \text{ V}$	$2.25 U_{vo} + 2000 \text{ V}$
Where $U_{so}$ and $U_{vo}$ are voltages as indicated in Figure 4, page 19.		

## 8. Tests on reactors

### 8.1 General

The tests and measurements and their methods of performance, to be applied to reactors are those specified in IEC Publication 310 except for the modifications or additions given in Sub-clauses 8.2 to 8.4 of this standard.

### 8.2 Measurement of inductance (type test)

Type and routine tests carried out as specified in IEC Publication 310, shall be supplemented, in the case of smoothing reactors with iron cores, by the following type test.

The method of measurement of inductance shall take into account the ripple currents superimposed on the direct current, and shall be agreed between manufacturer and user.

Inductance measurements shall be given as a function of the arithmetic mean value of the current over the whole field of application of the reactor.

On the reactor which has successfully passed the above type test, impedance and inductance with alternating current at an agreed industrial frequency shall be measured for different values of the current such that the voltages do not reach dangerous values. The manufacturer and the user shall agree on the choice of a certain point on the impedance current curve so plotted; this point shall be adopted as a basis for the subsequent routine tests.

### 8.3 Temperature-rise tests (type tests)

These tests can be performed only when the reactor is fitted in the convertor for which it has been designed or in an apparatus specially designed for the purpose.

Some inductors have an ohmic resistance too small to permit accurate measurement of the temperature-rise by the resistance variation method. 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 15.2.6.

#### 8.4 Essais d'isolement (essais de série)

La méthode de l'essai d'isolement doit être fixée par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

### SECTION QUATRE — GROUPES ET BLOCS CONVERTISSEURS

#### 9. Définitions

*Note.* — Sauf spécification contraire du présent article, les définitions générales données dans les publications de la CEI citées à l'article 2 sont valables pour les convertisseurs couverts par la présente norme.

##### 9.1 Termes fondamentaux

###### 9.1.1 *Convertisseur (électronique) (de puissance) (V.E.I. 551-02-01)*

Ensemble fonctionnel assurant une conversion électronique de puissance comprenant un ou plusieurs éléments de valve électronique et éventuellement des éléments associés tels que transformateurs, filtres et accessoires.

*Note.* — Les inductances de lissage, s'il y en a, sont considérées comme faisant partie du convertisseur.

###### 9.1.2 *Convertisseur autocommuté*

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

*Notes 1.* — En font partie, par exemple, les convertisseurs dans lesquels les tensions de commutation sont créées dans les dispositifs à semi-conducteurs (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 semi-conducteurs, au moyen de condensateurs.

2. — En font partie également, les convertisseurs dont la commutation est effectuée en partie par la ligne, en partie par autocommutation.

###### 9.1.3 *Redresseur*

Convertisseur pour la conversion de courant alternatif en courant continu.

###### 9.1.4 *Onduleur*

Convertisseur pour la conversion de courant continu en courant alternatif.

###### 9.1.5 *Convertisseur (de puissance) direct de courant alternatif (V.E.I. 551-02-05)*

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

###### 9.1.6 *Convertisseur (de puissance) indirect de courant alternatif (V.E.I. 551-02-06)*

Convertisseur de courant alternatif comprenant un circuit intermédiaire à courant continu.

###### 9.1.7 *Hacheur – Convertisseur direct de courant continu (V.E.I. 551-02-12)*

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

###### 9.1.8 *Convertisseur irréversible*

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

#### 8.4 *Insulation tests (routine tests)*

The method of the insulation test shall be agreed upon between purchaser and manufacturer.

### SECTION FOUR — CONVERTOR EQUIPMENT AND ASSEMBLIES

#### 9. Definitions

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

##### 9.1 *Basic terms*

###### 9.1.1 *(Electronic) (Power) convertor (I.E.V. 551-02-01)*

An operative unit for electronic power conversion comprising one or more electronic valve devices, transformers and filters if necessary and auxiliaries if any.

*Note.* — A smoothing reactor, if any, is considered to be a part of the convertor.

###### 9.1.2 *Self-commutated convertor*

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

*Notes 1.* — 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.

*2.* — This also includes convertors operating partly with line commutation, partly with self-commutation.

###### 9.1.3 *Rectifier*

A convertor for conversion from a.c. to d.c.

###### 9.1.4 *Inverter*

A convertor for conversion from d.c. to a.c.

###### 9.1.5 *Direct a.c. (power) convertor (I.E.V. 551-02-05)*

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

###### 9.1.6 *Indirect a.c. (power) convertor (I.E.V. 551-02-06)*

An a.c. convertor with an intermediate d.c. link.

###### 9.1.7 *Direct d.c. convertor – D.C. chopper convertor (I.E.V. 551-02-12)*

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

###### 9.1.8 *Non-reversible convertor*

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

9.1.9 *Convertisseur réversible*

Convertisseur de courant continu direct dans lequel la direction de la puissance est réversible.

9.2 *Éléments de circuit convertisseur*

9.2.1 *Élément de valve (électronique) (V.E.I. 551-03-01)*

Composant indivisible comportant un ou plusieurs trajets conducteurs unidirectionnels, non commandés ou commandés de façon bistable.

9.2.2 *Bras (de valve) (V.E.I. 551-04-04)*

Partie du circuit limitée par deux bornes principales quelconques côté courant alternatif ou côté courant continu, comprenant une valve ou plusieurs valves conduisant simultanément et reliées entre elles, et d'autres constitutifs éventuels.

9.2.3 *Bras principal (V.E.I. 551-04-05)*

Bras de valve concerné par le transfert principal de puissance entre les deux côtés du convertisseur ou du contacteur.

9.2.4 *Bras auxiliaire (V.E.I. 551-04-12)*

Bras autre que les bras principaux.

9.2.5 *Bras d'extinction (V.E.I. 551-04-15)*

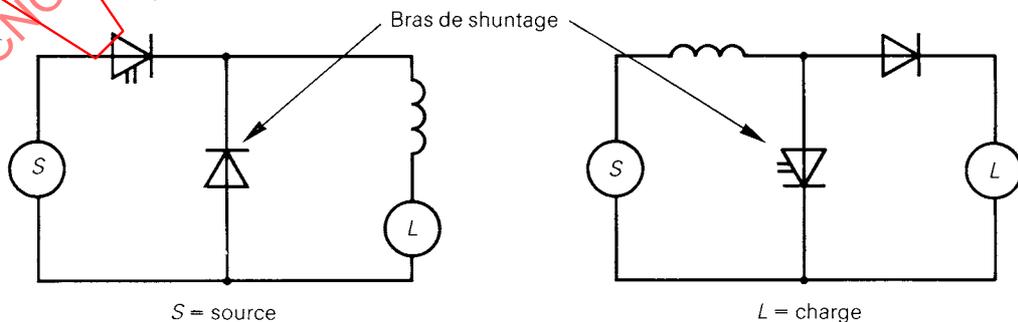
Bras auxiliaire destiné à dériver temporairement le courant du bras en conduction sans intermédiaire.

9.2.6 *Bras de retour – Bras de récupération (V.E.I. 551-04-16)*

Bras auxiliaire destiné à transférer une partie de la puissance du côté de la charge vers celui de la source.

9.2.7 *Bras de shuntage (V.E.I. 551-04-13)*

Bras auxiliaire permettant, sans échange de puissance entre la source et la charge, la circulation du courant pendant l'intervalle durant lequel aucun bras principal ne conduit.



550/82

FIGURE 5

Note. — Le symbole  indique que le bras peut être éteint.

### 9.1.9 Reversible convertor

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

## 9.2 Convertor circuit elements

### 9.2.1 (Electronic) valve device (I.E.V. 551-03-01)

An indivisible component (cell) comprising one or more non-controllable or bistably controlled unidirectionally conducting paths.

### 9.2.2 (Valve) arm (I.E.V. 551-04-04)

A part of the circuit bounded by any two principal (a.c. or d.c.) terminals and including one or more simultaneously conducting valves connected together and other components if any.

### 9.2.3 Principal arm (I.E.V. 551-04-05)

An arm involved in the major transfer of power from one side of the convertor or electronic switch to the other.

### 9.2.4 Auxiliary arm (I.E.V. 551-04-12)

Any arm other than a principal arm.

### 9.2.5 Turn-off arm (I.E.V. 551-04-15)

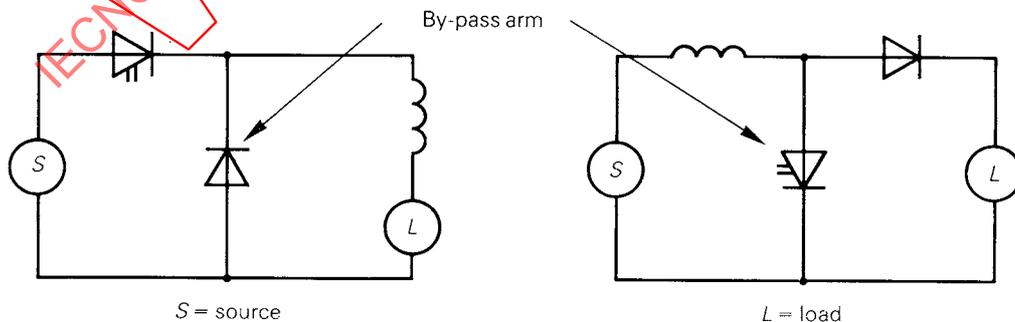
An auxiliary arm intended to temporarily take over the current directly from the conducting arm.

### 9.2.6 Regenerative arm (I.E.V. 551-04-16)

An auxiliary arm intended to transfer a part of the power from the load side to the source side.

### 9.2.7 By-pass arm (I.E.V. 551-04-13)

An auxiliary arm providing a conductive path to circulate current during the interval when no principal arm is conducting and without an interchange of power between source and load.



550/82

FIGURE 5

Note. — The symbol  indicates, that the arm can be switched off.

### 9.3 Propriétés du circuit

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

Courant direct ou à l'état passant des dispositifs à semiconducteurs d'un élément de circuit convertisseur circulant entre ses bornes (principales).

Notes 1. — Le courant principal est souvent désigné comme le «courant» de l'élément de circuit convertisseur.

2. — L'élément de circuit est la partie constitutive d'un circuit électrique, ne pouvant être fractionnée matériellement sans perdre son caractère.

#### 9.3.2 Intervalle de conduction

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

#### 9.3.3 Commutation (V.E.I. 551-05-01)

Transfert du courant d'un bras à un autre.

#### 9.3.4 Commutation directe (V.E.I. 551-05-07)

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

#### 9.3.5 Commutation indirecte (V.E.I. 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 des redresseurs au moyen de bras de shuntage et pour des onduleurs et des convertisseurs directs de courant continu au moyen de bras d'extinction.

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

#### 9.3.6 Intervalle de commutation (intervalle d'empiètement)

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

#### 9.3.7 Tension de commutation (V.E.I. 551-05-12)

Tension qui provoque la commutation du courant.

#### 9.3.8 Intervalle de suppression (V.E.I. 551-05-38)

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

#### 9.3.9 Rapport de conduction (V.E.I. 551-05-41)

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

#### 9.3.10 Facteur de réglage par impulsion (V.E.I. 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 *Circuit properties*

#### 9.3.1 *Principal current of convertor circuit element*

The on-state or forward current of the semiconductor devices of a convertor circuit element flowing between its (principal) terminals.

*Notes* 1. — The principal current is often referred to as the “current” of the convertor circuit element.

2. — The circuit element is that constituent part of an electric circuit which cannot be physically divided into smaller parts without losing its character.

#### 9.3.2 *Conduction interval*

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

#### 9.3.3 *Commutation* (I.E.V. 551-05-01)

The transfer of the current from one arm to another.

#### 9.3.4 *Direct commutation* (I.E.V. 551-05-07)

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

#### 9.3.5 *Indirect commutation* (I.E.V. 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 bypass arms in the case of rectifiers and by turn-off arms in the case of inverters and direct d.c. convertors.

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

#### 9.3.6 *Commutation interval* (*overlap interval*)

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

#### 9.3.7 *Commutating voltage* (I.E.V. 551-05-12)

The voltage which causes the current to commute.

#### 9.3.8 *Hold-off interval* (I.E.V. 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.

#### 9.3.9 *Conduction ratio* (I.E.V. 551-05-41)

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

#### 9.3.10 *Pulse control factor* (I.E.V. 551-05-33)

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

### 9.3.11 *Rapport de transfert (d'un convertisseur de courant continu)* (V.E.I. 551-05-34)

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

*Note.* — Pour les définitions spéciales concernant les convertisseurs directs multiples de courant continu, voir la Publication 146-3 de la CEI.

## 9.4 *Caractéristiques propres aux convertisseurs*

### 9.4.1 *Valeur nominale*

Valeur spécifique assignée aux grandeurs électriques, thermiques, mécaniques et climatiques par le constructeur afin de définir les conditions de fonctionnement dans lesquelles on peut attendre d'un convertisseur un fonctionnement satisfaisant.

### 9.4.2 *Tension nominale d'alimentation*

Tension d'alimentation spécifiée par le constructeur comme base des données d'utilisation.

### 9.4.3 *Tension d'alimentation en courant continu*

Valeur moyenne de la tension entre les bornes d'entrée, prise sur une période de la tension de la plus basse fréquence apparaissant entre les bornes d'entrée.

### 9.4.4 *Inductance d'alimentation*

Inductance de la ligne d'alimentation vue des points de branchement du convertisseur, celui-ci étant déconnecté.

### 9.4.5 *Surtension transitoire d'alimentation*

Pointe de tension transitoire qui peut apparaître sur les lignes d'alimentation du convertisseur, celui-ci étant déconnecté.

### 9.4.6 *Energie transitoire d'alimentation*

Quantité d'énergie en provenance de l'alimentation qui, due à un transitoire, peut entrer dans le convertisseur.

### 9.4.7 *Tension de sortie*

Tension mesurée entre les bornes de sortie.

*Note.* — Sauf spécification contraire, les valeurs de sortie sont données en valeurs efficaces de la composante fondamentale pour les sorties à courant alternatif et en valeurs moyennes pour les sorties à courant continu.

### 9.4.8 *Tension de sortie nominale*

Tension de sortie spécifiée par le constructeur comme base des données d'utilisation.

### 9.4.9 *Courant de sortie*

Courant obtenu aux bornes de sortie.

*Note.* — Sauf spécification contraire, les valeurs de sortie sont données en valeurs efficaces de la composante fondamentale pour les sorties à courant alternatif et en valeurs moyennes pour les sorties à courant continu.

### 9.4.10 *Courant nominal de sortie*

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

### 9.3.11 *Transfer factor (of a d.c. convertor) (I.E.V. 551-05-34)*

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

*Note.* — For special definitions concerning multiple direct d.c. convertors see IEC Publication 146-3.

## 9.4 *Characteristics related to convertors*

### 9.4.1 *Rated value*

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

### 9.4.2 *Rated supply voltage*

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

### 9.4.3 *D.C. supply voltage*

The mean value of the voltage between the input terminals taken over one cycle of the lowest-frequency ripple voltage appearing between the input terminals.

### 9.4.4 *Supply inductance*

The inductance presented by the supply line to the convertor with the convertor disconnected.

### 9.4.5 *Supply transient overvoltage*

The peak instantaneous voltage that may appear between the input lines to the convertor with the convertor disconnected.

### 9.4.6 *Supply transient energy*

The amount of energy available from the supply which may flow into the convertor due to a transient.

### 9.4.7 *Output voltage*

The voltage between the output terminals.

*Note.* — Unless otherwise specified, the output values are given in terms of r.m.s. of the fundamental for an a.c. output and in terms of mean values for a d.c. output.

### 9.4.8 *Rated output voltage*

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

### 9.4.9 *Output current*

The current from the output terminals.

*Note.* — Unless otherwise specified, the output values are given in terms of r.m.s. of the fundamental for an a.c. output and in terms of mean values for a d.c. output.

### 9.4.10 *Rated output current*

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

9.4.11 *Courant de sortie nominal en régime continu*

Courant de sortie maximal qui peut être débité en permanence sans excéder les limites établies dans des conditions de service prescrites.

9.4.12 *Courant de sortie nominal de courte durée*

Courant de sortie maximal qui peut être débité pendant un temps spécifié sans excéder les limites établies dans des conditions de service prescrites.

9.4.13 *Courant de court-circuit dynamique de sortie*

Courant transitoire entre les bornes de sortie lors d'un court-circuit de ces dernières.

9.4.14 *Impédance de sortie*

Impédance présentée à la charge par un convertisseur pour des fréquences données.

9.4.15 *Puissance de sortie*

Puissance active obtenue aux bornes de sortie (somme de la puissance correspondant aux composantes fondamentales de la tension et du courant, et de la puissance correspondant aux composantes harmoniques).

9.4.16 *Puissance de sortie nominale*

Puissance apparente dans des conditions de charge spécifiées.

9.4.17 *Facteur de puissance de la charge*

Caractéristique d'une charge en courant alternatif exprimée comme étant le rapport entre la puissance active et la puissance apparente en supposant une tension sinusoïdale idéale, de fréquence spécifiée.

9.4.18 *Fréquence nominale (gamme de fréquences)*

Valeur nominale de la fréquence fondamentale ou gamme de fréquences fondamentales sur laquelle la fréquence fondamentale peut être réglée.

9.4.19 *Fonction tension/fréquence*

Rapport entre la tension de sortie et la fréquence fondamentale de sortie en fonction de la fréquence.

9.4.20 *Ondulation*

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

9.4.21 *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.

9.4.22 *Teneur relative en composantes alternatives*

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

#### 9.4.11 *Rated continuous output current*

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

#### 9.4.12 *Rated short time output current*

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

#### 9.4.13 *Dynamic short-circuit output current*

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

#### 9.4.14 *Output impedance*

The impedance presented by the convertor to the load for specified frequencies.

#### 9.4.15 *Output power*

The active power (the sum of the power of the fundamental frequency components of voltage and current and power of the harmonic components) from the output terminals.

#### 9.4.16 *Rated output*

The apparent power output for specified load conditions.

#### 9.4.17 *Load power factor*

Characteristic of an a.c. load in terms expressed by the ratio of active power to apparent power assuming an ideal sinusoidal voltage (and rated) frequency.

#### 9.4.18 *Rated frequency (frequency range)*

The rated value of the fundamental frequency or the range over which the fundamental frequency may be adjusted.

#### 9.4.19 *Voltage/frequency function*

The ratio of output voltage to the frequency of the output fundamental as a function of the frequency.

#### 9.4.20 *Ripple*

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

#### 9.4.21 *Ripple components*

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

#### 9.4.22 *Relative ripple content*

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

9.4.23 *Ondulation crête à crête relative*

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

9.4.24 *Taux d'ondulation d'un courant continu* (V.E.I. 551-06-30)

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

9.4.25 *Facteur de forme en courant continu* (V.E.I. 551-06-29)

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

9.4.26 *Bande de tolérance*

Gamme des valeurs de régime établi que peut prendre une grandeur de sortie stabilisée, comprise entre les limites d'erreur de fonctionnement.

*Note.* — La bande de tolérance constitue la déviation autorisée d'une grandeur de sortie stabilisée à partir d'une valeur nominale ou prédéterminée.

9.4.27 *Indice de pulsation* (V.E.I. 551-06-01)

Nombre de commutations non simultanées et symétriques directes ou indirectes d'un bras principal à un autre ou nombre d'extinctions sans commutation qui se produisent pendant une période élémentaire.

9.4.28 *Fréquence d'impulsion*

Inverse du temps entre deux commutations de même sens.

*Note.* — Il existe des applications avec fréquence d'impulsion constante et d'autres avec fréquence d'impulsion variable. Dans le dernier cas, la valeur maximale de la fréquence d'impulsion peut être intéressante.

9.4.29 *Modulation périodique de la tension de sortie*

Variation périodique de l'amplitude de la tension de sortie à des fréquences inférieures à la fréquence fondamentale de sortie.

9.4.30 *Modulation périodique de la fréquence*

Variation périodique de la fréquence de sortie autour de sa valeur nominale.

9.4.31 *Déviaton de la tension*

Différence instantanée entre la tension instantanée réelle et la valeur correspondante de l'onde précédemment non perturbée.

*Note.* — L'amplitude de la déviation de la tension s'exprime en pourcentage ou par unité par rapport à la valeur de crête de la tension précédemment non perturbée.

9.4.32 *Baisse de tension*

Amplitude de la déviation transitoire de la tension dont la direction est orientée vers une diminution de la tension absolue.

9.4.33 *Elévation de tension*

Amplitude de la déviation transitoire de la tension dont la direction est orientée vers une élévation de la tension absolue.

9.4.23 *Relative peak-to-peak ripple factor*

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

9.4.24 *D.C. ripple factor* (I.E.V. 551-06-30)

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

9.4.25 *D.C. form factor* (I.E.V. 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.

9.4.26 *Tolerance band*

The range of steady-state values of a stabilized output quantity lying between the limits of operating error.

*Note.* — Tolerance band describes the permissible deviation of a stabilized output quantity from a rated or preset value.

9.4.27 *Pulse number* (I.E.V. 551-06-01)

The number of non-simultaneous symmetrical direct or indirect commutations from one principal arm to another which occur during one elementary period.

9.4.28 *Pulse frequency*

The reciprocal of the time between two commutations in the same direction.

*Note.* — There are applications with constant pulse frequency and other applications with varying pulse frequency. In the latter case the maximum value of the pulse frequency may be of interest.

9.4.29 *Periodic output voltage modulation*

The periodic variation of output voltage amplitude at frequencies less than the fundamental output frequency.

9.4.30 *Periodic frequency modulation*

The periodic variation of the output frequency from its rated value.

9.4.31 *Voltage deviation*

The instantaneous difference between the actual instantaneous voltage and the corresponding value of the previously undisturbed waveform.

*Note.* — Voltage deviation amplitude is expressed in per cent or per unit referred to the peak value of the previously undisturbed voltage.

9.4.32 *Voltage dip*

The transient voltage deviation amplitude, the direction of which is towards diminishing absolute voltage.

9.4.33 *Voltage rise*

The transient voltage deviation amplitude, the direction of which is towards increasing absolute voltage.

#### 9.4.34 *Circuit triphasé dissymétrique*

Circuit triphasé dans lequel la valeur efficace de la tension (ou du courant) d'au moins une des phases ou la tension entre phases est nettement différente des autres.

#### 9.4.35 *Rapport de dissymétrie*

Différence entre la valeur la plus haute et la valeur la plus basse des valeurs efficaces de la fondamentale dans un circuit triphasé, par rapport à la moyenne des trois valeurs efficaces de la fondamentale du courant ou des tensions, selon le cas.

#### 9.4.36 *Facteur de dissymétrie*

Rapport entre la composante inverse et la composante directe.

#### 9.4.37 *Rendement en puissance ou rendement*

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

*Note.* — Il convient de prendre ces deux puissances comme la puissance totale donnée par la formule:

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

#### 9.4.38 *Facteur de conversion* (pour tension alternative sinusoïdale seulement) (V.E.I. 551-06-11)

Rapport de la puissance fondamentale ou de la puissance en courant continu de sortie à la puissance fondamentale ou à la puissance en courant continu d'entrée.

*Notes 1.* — Le cas échéant, il convient de considérer la puissance fondamentale du côté courant continu comme étant le produit des valeurs moyennes de la tension et du courant.

Le cas échéant, il convient de considérer la puissance fondamentale du côté courant alternatif comme étant la puissance active correspondant aux composantes fondamentales de la tension et du courant.

2. — Pour les autres définitions relatives aux caractéristiques côté ligne du convertisseur, voir l'article 4.

### 10. **Configurations des convertisseurs autocommutés pour la traction**

Les convertisseurs de puissance pour la traction comportent une entrée à courant alternatif monophasé et une sortie de l'un des deux types ci-après, suivant la charge utilisée:

- 1) sortie à courant continu pour l'alimentation de moteurs à courant continu;
- 2) sortie à courant alternatif polyphasé pour l'alimentation de moteurs à induction ou de moteurs synchrones. Les moteurs peuvent être du type tournant ou linéaire.

Trois sortes de convertisseurs sont applicables aux véhicules de traction (voir figure 6, page 36):

- 1) redresseur pouvant être soit autocommuté, soit associé à un convertisseur direct de courant continu (hacheur);
- 2) convertisseur direct de courant alternatif (cycloconvertisseur);
- 3) convertisseur indirect de courant alternatif comprenant un redresseur et un onduleur pouvant être soit autocommuté, soit commuté par la charge, ainsi qu'une liaison commune à courant continu.

*Note.* — La commutation par la charge est en dehors du domaine d'application de la présente norme.

En conséquence, trois modules de convertisseur élémentaire autocommuté sont considérés dans cette norme: redresseur, convertisseur direct de courant alternatif et onduleur, puisqu'un convertisseur indirect de courant alternatif est constitué d'un redresseur et d'un onduleur. Les articles ci-après donnent les spécifications et essais de ces modules.

#### 9.4.34 *Unbalanced three-phase system*

A three-phase system in which the r.m.s. value of at least one phase voltage (or current) or line-to-line voltage is significantly different from the others.

#### 9.4.35 *Unbalance ratio*

The difference between the highest and the lowest fundamental r.m.s. values in a three-phase system, referred to the average of the three fundamental r.m.s. values of current or voltages respectively.

#### 9.4.36 *Unbalance factor*

The ratio of the negative sequence component to the positive sequence component.

#### 9.4.37 *Power efficiency or efficiency*

The ratio of active output power and active input power.

*Note.* — Both powers should be taken as the total power as given by the formula:

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

#### 9.4.38 *Conversion factor* (for sinusoidal alternating voltage only) (I.E.V. 551-06-11)

The ratio of the fundamental output power or d.c. output power to the fundamental power or d.c. input power.

*Notes* 1. — The fundamental power on the d.c. side, if any, should be taken as the product of the mean values of the voltage and current.

The fundamental power on the a.c. side, if any, should be taken as the power of the fundamental frequency components of the voltage and current.

2. — For further definitions of converter a.c. side characteristics, see Clause 4.

### 10. **Configurations of self-commutated traction convertors**

Traction power convertors shall be suitable for a single-phase a.c. input and have one of the following two types of output, depending upon the type of load:

- 1) d.c. output for feeding d.c. motors;
- 2) polyphase a.c. output for supplying power to induction motors or synchronous motors. The motors may be of the rotating or of the linear type.

Three different kinds of convertors are applicable to traction vehicles (see Figure 6, page 37):

- 1) rectifier, which can be either self-commutated or associated with a direct d.c. convertor (chopper);
- 2) direct a.c. convertor (cycloconvertor);
- 3) indirect a.c. convertor comprising a rectifier and an inverter which can be either self-commutated or load-commutated with a common d.c. link.

*Note.* — Load commutation is outside the scope of this standard.

Consequently, three elementary self-commutated convertor modules are considered in this standard: rectifier, direct a.c. convertor and inverter, because an indirect a.c. convertor consists of a rectifier and an inverter. In the following clauses recommendations are given for specifying and testing these modules.

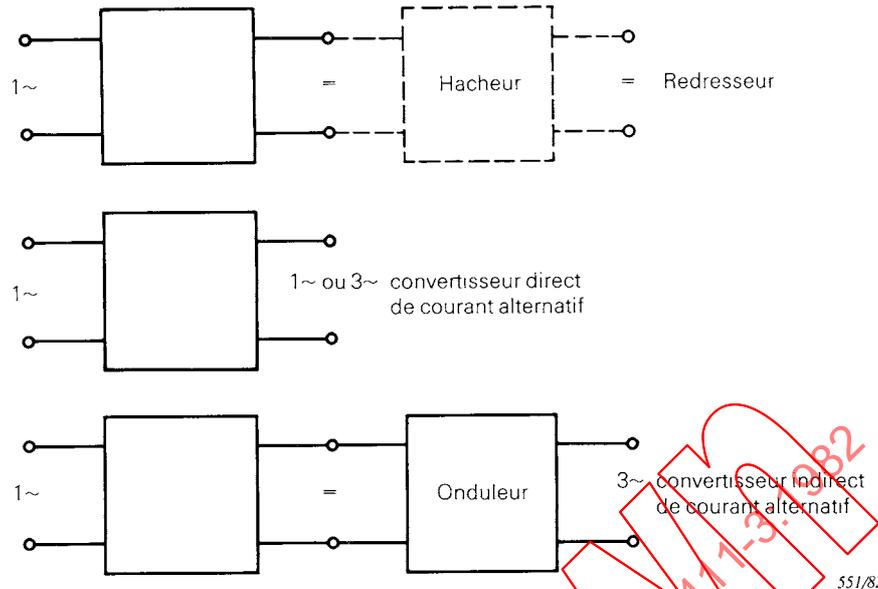


FIGURE 6

### 11. Redresseur autocommuté

Si le redresseur est du type à commutation par la ligne, il doit satisfaire aux spécifications et essais de la Publication 411-1 de la CEI.

Certains types de redresseurs sont en partie commutés par la ligne, en partie autocommutés. Ils doivent, dans ce cas, satisfaire à la fois aux prescriptions de la Publication 411-1 de la CEI et à la présente norme.

Deux applications de ces redresseurs sont données à la figure 7.

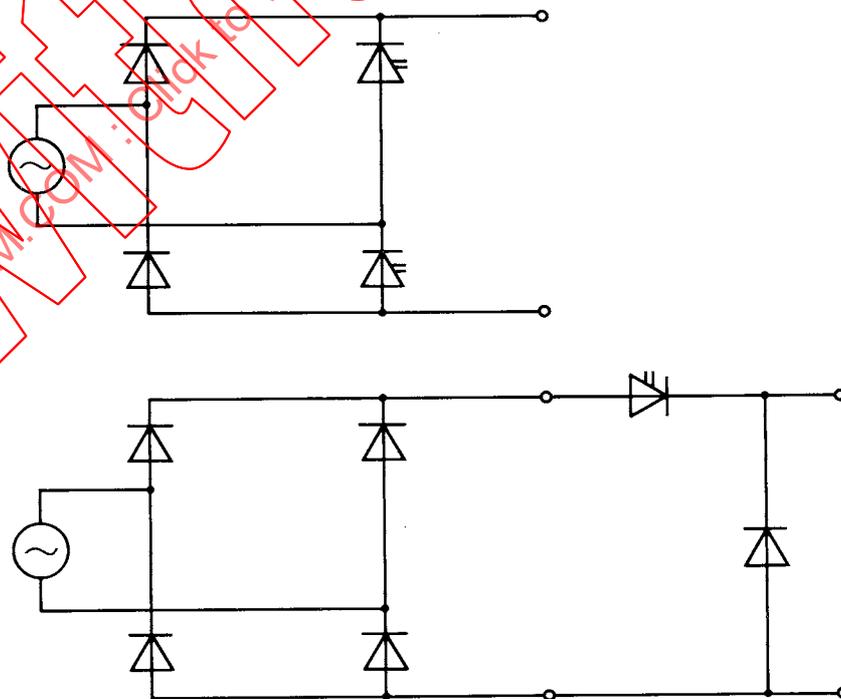


FIGURE 7

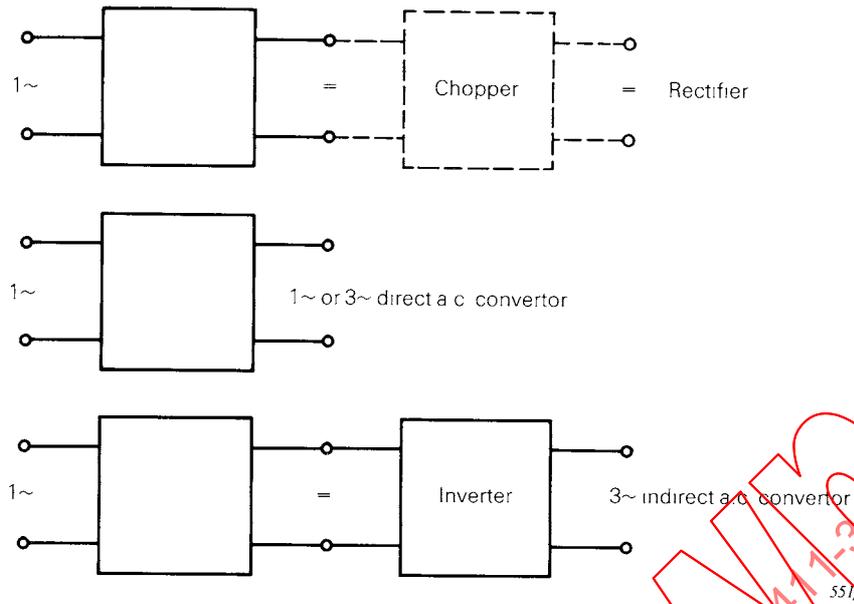


FIGURE 6

11. Self-commutated rectifier

If the rectifier is of the line-commutated type, it shall be specified and tested according to IEC Publication 411-1.

There are certain types of rectifiers, which are partly line-commutated and partly self-commutated. In this case, the requirements of both IEC Publication 411-1 and this standard shall be met.

Two applications of these rectifiers are given in Figure 7.

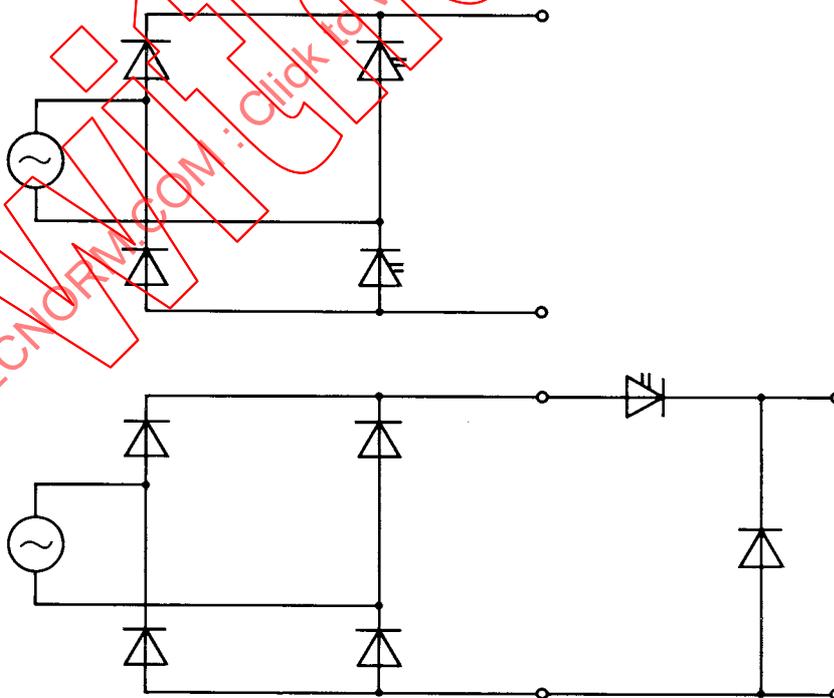


FIGURE 7

### 11.1 Tensions d'alimentation

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 transformateur du convertisseur comprises entre 100% et 110% de  $U_{LN}$  pour les réseaux à 50 Hz et à 60 Hz ou entre 100% et 115% de  $U_{LN}$  pour les réseaux à 16 2/3 Hz (voir paragraphe 3.1.5.2).

Le convertisseur et ses auxiliaires doivent pouvoir être mis en service et continuer à fonctionner indéfiniment pour des valeurs de tension côté ligne tombant à 75% de  $U_{LN}$ . De plus, ils doivent pouvoir continuer à fonctionner pendant quelques minutes pour des valeurs de tension côté ligne tombant à 70% de  $U_{LN}$ .

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 utilisera les valeurs de surtension données, à titre indicatif, par la courbe (2) de la figure 8. L'utilisateur doit indiquer si les dispositifs de protection utilisés doivent ou non être réarmables.

Le convertisseur doit fonctionner normalement lorsqu'il est soumis aux surtensions données par la courbe (1) de la figure 8.

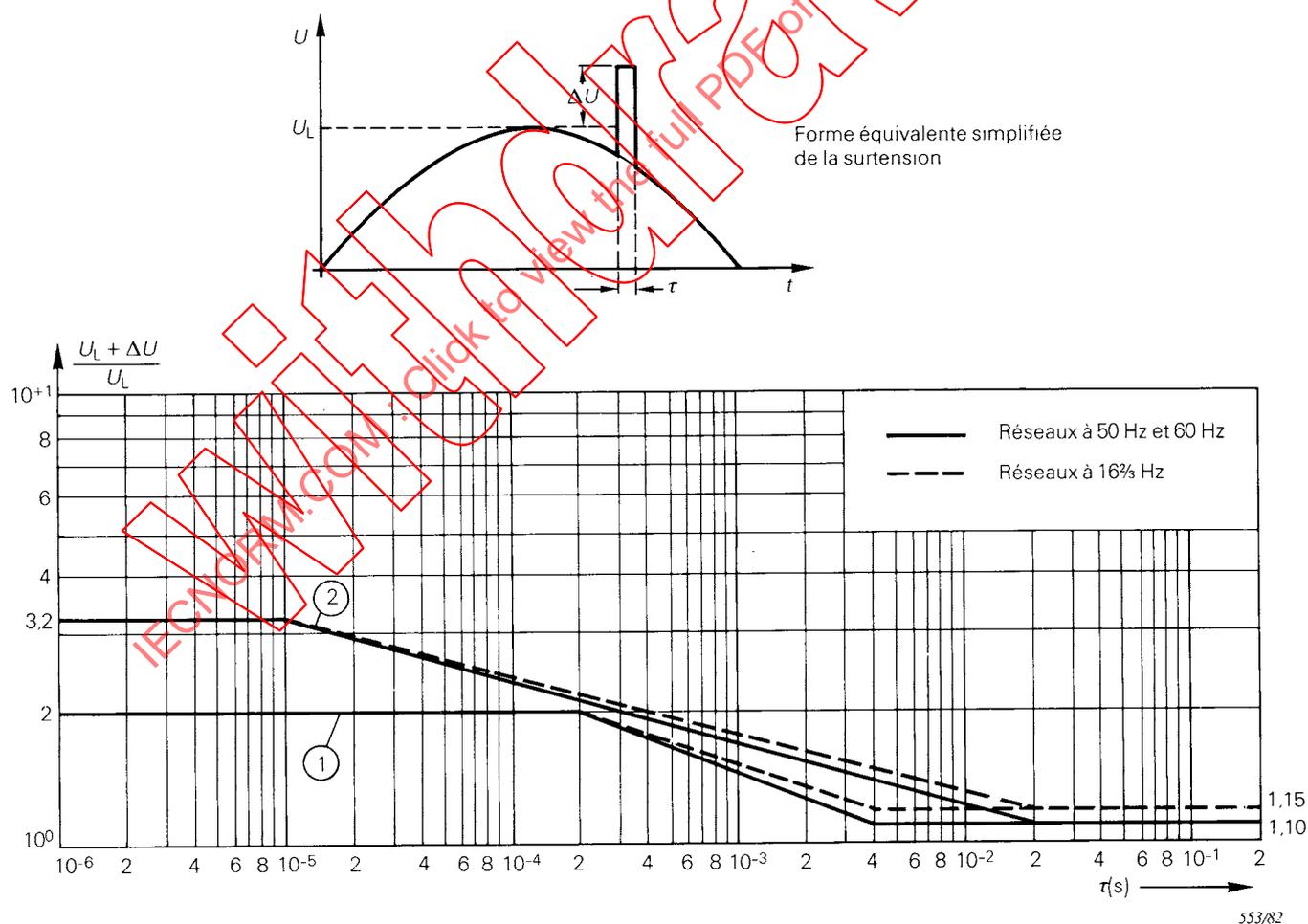


FIGURE 8

11.1 Supply 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 converter transformer between 100% and 110% of  $U_{LN}$  for 50 Hz and 60 Hz systems or between 100% and 115% of  $U_{LN}$  for 16 2/3 Hz systems (see Sub-clause 3.1.5.2).

The converter and its auxiliaries shall be capable of starting and continuing to operate indefinitely for voltage values on the line side down to 75% of  $U_{LN}$ . Further, they shall be able to continue to operate for a few minutes for voltage values on the line side down to 70% of  $U_{LN}$ .

The converter equipment, including its protective devices if any, shall be able to withstand input overvoltages as specified by the user without damage. In the event of no specifications being issued, the overvoltages as specified in curve (2) of Figure 8, shall be used for guidance. The user shall state whether the protective devices used shall be resettable or not.

The converter shall operate normally when subjected to overvoltages as given in curve (1) of Figure 8.

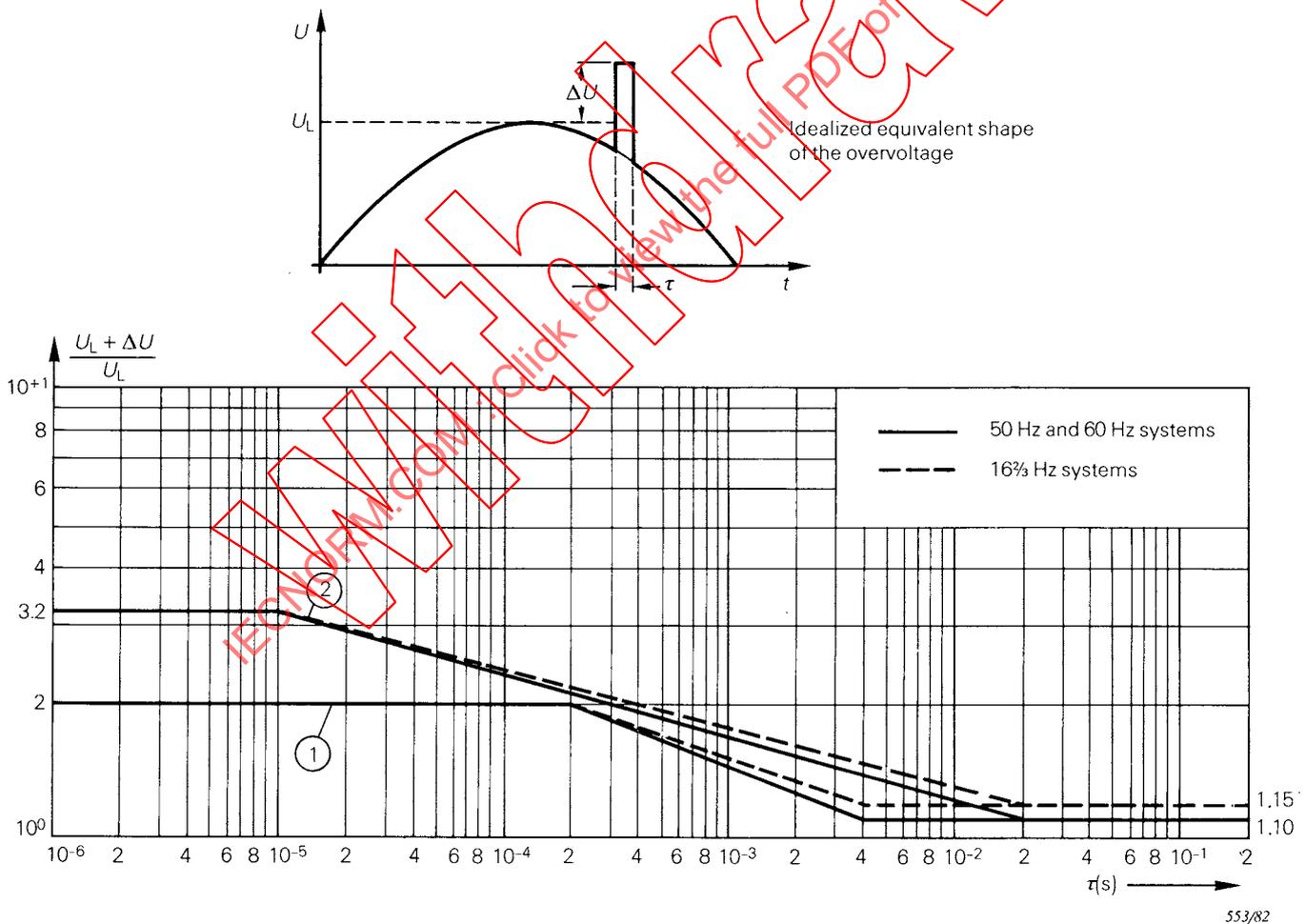


FIGURE 8

## 11.2 *Caractéristiques côté alternatif*

### 11.2.1 *Facteur de déphasage*

Le facteur de déphasage doit être déterminé par calcul dans les conditions de fonctionnement spécifiées.

### 11.2.2 *Composantes en harmoniques*

Sur demande de l'utilisateur, le constructeur doit calculer la valeur maximale des harmoniques spécifiés du courant côté ligne.

### 11.2.3 *Courant perturbateur*

La valeur maximale et la durée du courant perturbateur selon le paragraphe 4.9 doivent être fixées par accord entre constructeur et utilisateur, de préférence sous la forme d'une courbe.

### 11.2.4 *Facteur de puissance*

Le facteur de puissance doit être déterminé par calcul dans les conditions de fonctionnement spécifiées.

Sur demande de l'utilisateur, le constructeur devra calculer le facteur de puissance moyen pour un service donné. Ce facteur sera calculé à l'aide de la formule:

$$\frac{\int_{T_1}^{T_2} u i dt}{\sqrt{\int_{T_1}^{T_2} u^2 dt} \int_{T_1}^{T_2} i dt}$$

où  $T_2 - T_1$  représente l'intervalle de temps du cycle de service avec  $T_2 - T_1 \gg \frac{2\pi}{\omega}$

Si le service comporte du freinage par récupération, le facteur de puissance moyen doit être calculé séparément pour le fonctionnement en traction et pour le fonctionnement en freinage.

## 11.3 *Caractéristiques côté continu*

### 11.3.1 *Tension de sortie nominale*

La tension de sortie nominale du redresseur doit être spécifiée pour la tension d'alimentation nominale et pour le courant continu nominal.

### 11.3.2 *Régulation de tension*

La régulation de tension doit être spécifiée en fonction du courant continu et à la tension d'entrée nominale.

### 11.3.3 *Variation de tension*

La plage de variation de tension doit être spécifiée en fonction du courant continu et à la tension d'entrée nominale.

### 11.3.4 *Ondulation de la tension*

Le taux d'ondulation de la tension de sortie doit être spécifié en fonction du courant continu et de la tension d'entrée.

## 11.2 A.C. characteristics

### 11.2.1 Displacement factor

The displacement factor shall be determined by calculation under specified operating conditions.

### 11.2.2 Harmonic components

On request of the purchaser the manufacturer shall calculate the maximum value of specified harmonics of the line-side current.

### 11.2.3 Noise current

The maximum value and duration of the noise current according to Sub-clause 4.9 shall be agreed upon between manufacturer and user. This could best be presented in the form of a curve.

### 11.2.4 Power factor

The power factor shall be determined by calculation under specified operating conditions.

On request of the user, the manufacturer shall calculate the average power factor for a given duty. The average power factor shall be calculated according to the formula:

$$\frac{T_2 \int_{T_1}^{T_2} u i dt}{\sqrt{\frac{T_2 \int_{T_1}^{T_2} u^2 dt}{T_1} + \frac{T_2 \int_{T_1}^{T_2} i^2 dt}{T_1}}}$$

with  $T_2 - T_1$  being the time interval of the duty and  $T_2 - T_1 \gg \frac{2\pi}{\omega}$

If the duty includes regenerative braking, the average power factor shall be calculated for motor operation and for braking operation separately.

## 11.3 D.C. characteristics

### 11.3.1 Rated output voltage

The rated output voltage of the rectifier shall be specified for rated supply voltage and rated d.c. current.

### 11.3.2 Voltage regulation

The voltage regulation shall be specified as a function of d.c. current and at rated input voltage.

### 11.3.3 Voltage variation

The range of voltage variation shall be specified as a function of the d.c. current and at rated input voltage.

### 11.3.4 Voltage ripple

The ripple factor of the output voltage shall be specified as a function of the d.c. current and input voltage.

### 11.3.5 *Courant de sortie nominal*

Le courant de sortie nominal doit être spécifié pour la température ambiante maximale et pour les conditions de refroidissement stipulées.

### 11.3.6 *Variation du courant de sortie*

Dans le cas de redresseurs à sortie de courant contrôlée, la plage de variation du courant doit être spécifiée.

### 11.3.7 *Courant de sortie nominal de courte durée*

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

### 11.3.8 *Protection contre les courts-circuits*

Le constructeur doit indiquer la nature et la fonction du dispositif de protection contre les courts-circuits, selon accord figurant au contrat.

## 11.4 *Pertes et rendement*

On préfère généralement faire usage du facteur de conversion (voir paragraphe 9.4.38).

*Note.* — Le facteur de conversion est obtenu par mesure, au wattmètre, de la puissance, côté alternatif, et, au voltmètre et à l'ampèremètre, de la puissance de la composante continue du courant redressé.

## 12. **Onduleur autocommuté**

### 12.1 *Généralités*

Les moteurs d'induction à courant alternatif et les moteurs synchrones utilisés en traction sont normalement alimentés à tension et à courant de fréquence variable. En conséquence, les spécifications ci-après sont limitées aux onduleurs à fréquence de sortie variable. Dans la mesure du possible, ces recommandations peuvent être appliquées aux onduleurs auxiliaires à fréquence de sortie fixe. La Publication 146-2 de la CEI est également applicable.

Les moteurs de traction du type synchrone peuvent être alimentés par des onduleurs commutés par la machine, munis d'un équipement additionnel de démarrage autocommuté. Dans ce cas, la présente norme et la Publication 411-1 de la CEI sont respectivement applicables.

### 12.2 *Tensions d'alimentation*

#### 12.2.1 *Tension nominale d'alimentation*

La tension nominale d'alimentation doit être spécifiée pour la fréquence nominale de sortie et pour le courant nominal de sortie.

#### 12.2.2 *Tolérance sur la tension d'alimentation*

Dans le cas d'onduleurs alimentés à tension constante, la plage de tolérance sur la tension d'entrée doit être spécifiée pour les valeurs nominales de sortie.

De plus, la plage de tension d'entrée, dans laquelle l'onduleur peut fonctionner à régimes réduits, doit être spécifiée en fonction du courant de sortie.

### 11.3.5 *Rated continuous output current*

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

### 11.3.6 *Output current variation*

In the case of rectifiers with controlled current output the range of current variation shall be specified.

### 11.3.7 *Rated short-time output current*

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

### 11.3.8 *Short-circuit current protection*

The manufacturer shall state the kind and the function of the short-circuit current protection as agreed in the contract.

## 11.4 *Losses and efficiency*

It is generally preferred to utilize the conversion factor (see Sub-clause 9.4.38).

*Note.* — The conversion factor is obtained by measurement of the power on the a.c. side, using a wattmeter, and of the power of the d.c. component of the rectified current, using a voltmeter and an ammeter.

## 12. **Self-commutated inverter**

### 12.1 *General*

A.C.-traction induction motors and synchronous motors are normally supplied with voltage and current of variable frequency. Therefore the following specifications are confined to inverters with variable output frequency. For auxiliary inverters with fixed output frequency these recommendations may be applied as far as possible. IEC Publication 146-2 is also applicable.

Traction motors of the synchronous type may be supplied by machine-commutated Inverters with additional self-commutated starting equipment. In this case, this standard and IEC Publication 411-1 apply respectively.

### 12.2 *Supply voltages*

#### 12.2.1 *Rated supply voltage*

The rated supply voltage shall be specified for rated output frequency and rated output current.

#### 12.2.2 *Supply voltage tolerance*

In the case of inverters with constant voltage supply, the range of input voltage tolerance for rated output values shall be specified.

In addition, the range of input voltage, within which the inverter is able to operate with reduced ratings, shall be specified as a function of output current.

### 12.2.3 *Variation de la tension d'alimentation*

Dans le cas d'onduleurs alimentés à tension variable, la plage de variation de la tension doit être spécifiée en fonction du courant.

### 12.2.4 *Ondulation de la tension*

Le taux d'ondulation maximal admissible du courant continu et la fréquence d'ondulation de la tension d'alimentation doivent être spécifiés.

*Note.* — Ce paragraphe n'est pas applicable aux onduleurs travaillant en courant.

### 12.2.5 *Surtensions d'alimentation*

Le constructeur doit spécifier la valeur maximale admissible des surtensions d'alimentation de courte durée.

## 12.3 *Caractéristiques côté continu*

### 12.3.1 *Courant d'entrée nominal*

Le constructeur doit spécifier le courant d'entrée pour les valeurs nominales des courant, tension et fréquence de sortie.

### 12.3.2 *Variation du courant d'entrée*

Dans le cas d'onduleurs travaillant en courant, la plage de variation du courant doit être spécifiée.

### 12.3.3 *Ondulation du courant d'entrée*

L'ondulation du courant d'entrée de l'onduleur doit être calculée pour les conditions de fonctionnement spécifiées.

### 12.3.4 *Courant d'entrée maximal*

La valeur maximale du courant d'entrée de courte durée pouvant apparaître dans les conditions de fonctionnement doit être spécifiée.

## 12.4 *Caractéristiques côté alternatif*

### 12.4.1 *Généralités*

Les valeurs nominales d'un onduleur doivent être considérées comme un ensemble de caractéristiques définissant les valeurs nominales de sortie qui peuvent être obtenues de l'appareil dans des conditions de fonctionnement spécifiées sans dépasser aucune des limites définies par les normes établies (qui s'appliquent aux divers composants d'un convertisseur), ni provoquer de panne fondamentale. La charge nominale d'un onduleur doit être exprimée en termes de puissance apparente disponible aux bornes de sortie, d'après les bases indiquées ci-après.

### 12.4.2 *Tension de sortie nominale*

La valeur efficace nominale de la tension de sortie fondamentale doit être spécifiée pour la fréquence de sortie nominale dont les caractéristiques doivent être spécifiées: fréquence fixe ou fréquence variable et, dans ce dernier cas, plage et critère de variation.

### 12.2.3 *Supply voltage variation*

In the case of inverters with variable voltage supply, the range of voltage variation shall be specified as a function of current.

### 12.2.4 *Voltage ripple*

The maximum admissible d.c. ripple factor and the ripple frequency of the supply voltage shall be specified.

*Note.* — This sub-clause is not applicable to current source inverters.

### 12.2.5 *Supply overvoltage*

The maximum admissible short-time supply-overvoltage shall be specified by the manufacturer.

## 12.3 *D.C. characteristics*

### 12.3.1 *Rated input current*

The input current at rated output current, voltage and frequency shall be specified by the manufacturer.

### 12.3.2 *Input current variation*

In the case of current source inverters, the range of current variation shall be specified.

### 12.3.3 *Input current ripple*

The input current ripple of the inverter shall be calculated for specified operating conditions.

### 12.3.4 *Maximum input current*

The maximum short-time input current that may occur under operating conditions shall be specified.

## 12.4 *A.C. characteristics*

### 12.4.1 *General*

The rated values for an inverter shall be regarded as a rating which defines the rated output values which can be taken from the apparatus under specified service conditions without exceeding any of the limitations of established standards (which apply to various components of a convertor unit) or incurring structural failure. An inverter shall have its rated load expressed in terms of apparent power available at the output terminals on the basis listed below.

### 12.4.2 *Rated output voltage*

The rated r.m.s. value of the fundamental output voltage shall be specified for rated output frequency whose characteristics of the output frequency shall be specified: fixed or variable frequency, and in the latter case, range and criteria of variation.

#### 12.4.3 *Résidu de la tension*

La forme d'onde de la tension de sortie doit être spécifiée selon accord entre constructeur et utilisateur.

#### 12.4.4 *Variation de la tension de sortie*

La plage de variation de la valeur efficace de la tension fondamentale de sortie doit être spécifiée en fonction de la fréquence.

*Note.* — Pour les onduleurs travaillant en courant, les paragraphes 12.4.3 et 12.4.4 ne sont pas applicables.

#### 12.4.5 *Surtension de sortie maximale*

La surtension de sortie maximale due à la charge, admissible dans les conditions de fonctionnement, doit être spécifiée.

#### 12.4.6 *Courant de sortie nominal*

La valeur efficace nominale du courant de sortie fondamental doit être spécifiée.

#### 12.4.7 *Résidu du courant*

Si nécessaire, le soumissionnaire principal, qui connaît les caractéristiques de la charge, pourra calculer le résidu du courant.

#### 12.4.8 *Variation du courant de sortie en régime continu*

La plage de variation du courant fondamental de sortie pouvant être fourni indéfiniment par l'onduleur doit être spécifiée en fonction de la fréquence et de la tension d'entrée.

#### 12.4.9 *Courant de sortie de surcharge*

La valeur de courant de surcharge de courte durée doit être spécifiée en fonction du temps.

#### 12.4.10 *Protection contre les courts-circuits*

Le constructeur doit indiquer la nature et la fonction du dispositif de protection contre les courts-circuits, selon accord figurant au contrat.

#### 12.4.11 *Facteur de conversion*

Le facteur de conversion doit être déterminé, dans les conditions de charge spécifiées, au moyen de la méthode indiquée au paragraphe 11.4.

### 13. **Convertisseur autocommuté direct de courant alternatif**

#### 13.1 *Tensions d'alimentation*

#### 13.2 *Caractéristiques d'entrée à courant alternatif*

Voir paragraphes 11.1 et 11.2 de la présente norme.

#### 13.3 *Caractéristiques de sortie à courant alternatif*

Voir le paragraphe 12.4 de la présente norme.

#### 12.4.3 *Harmonic content of the voltage*

The waveform of the output voltage shall be specified as agreed upon between manufacturer and user.

#### 12.4.4 *Output voltage variation*

The range of variation of the r.m.s. fundamental output voltage shall be specified as a function of the frequency.

*Note.* — For current source inverters, Sub-clauses 12.4.3 and 12.4.4 do not apply.

#### 12.4.5 *Maximum output overvoltage*

The maximum output overvoltage caused by the load, which is permissible under operating conditions, shall be specified.

#### 12.4.6 *Rated output current*

The rated r.m.s. value of the fundamental output current shall be specified.

#### 12.4.7 *Harmonic content of the current*

If necessary, the main contractor, who knows the characteristics of the load, may calculate the harmonic content of the current.

#### 12.4.8 *Continuous output current range*

The range of variation of the r.m.s. fundamental output current which can be taken from the inverter indefinitely shall be specified as a function of the frequency and of the input voltage.

#### 12.4.9 *Range of overload output current*

The range of short-time overload current shall be specified as a function of time.

#### 12.4.10 *Short-circuit current protection*

The manufacturer shall state the kind and the function of the short-circuit current protection as agreed upon in the contract.

#### 12.4.11 *Conversion factor*

For specified load conditions the conversion factor shall be determined by the input/output method, see Sub-clause 11.4.

### 13. **Self-commutated direct a.c. convertor**

#### 13.1 *Supply voltages*

#### 13.2 *A.C. input characteristics*

See Sub-clauses 11.1 and 11.2 of this standard.

#### 13.3 *A.C. output characteristics*

See Sub-clause 12.4 of this standard.

## 14. Convertisseur autocommuté indirect de courant alternatif

### *Généralités*

Les convertisseurs indirects de courant alternatif fournis par un seul constructeur doivent faire l'objet des mêmes spécifications que les convertisseurs directs de courant alternatif.

Si le redresseur et l'onduleur sont fournis séparément par des constructeurs différents, il convient d'appliquer respectivement les articles 11 et 12.

*Note.* — Dans le cas des convertisseurs indirects, il peut se produire des influences entre les circuits principaux, les équipements de commande et les circuits de protection des deux constituants. Dans ce cas, il est recommandé d'établir une spécification spéciale pour chaque sous-ensemble constitutif.

## 15. Essais des convertisseurs

*Note.* — Il est recommandé de limiter l'exécution des essais coûteux à ceux qui sont nécessaires. Les recommandations suivantes sont présentées de telle façon que la plupart des essais peuvent normalement être effectués, dans les ateliers du constructeur, sur les constituants du convertisseur.

### 15.1 *Catégories d'essais*

#### 15.1.1 *Généralités*

Il existe trois catégories d'essais:

- les essais de type;
- les essais de série;
- les essais d'investigation.

La différence entre ces trois types est expliquée au cours du texte.

#### 15.1.2 *Essais de type*

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

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 pourra présenter un procès-verbal des essais antérieurs couvrant au minimum les exigences du contrat. Dans de tels cas, il n'est pas nécessaire, sauf spécification contraire, de recommencer ces essais sur l'appareil considéré.

Après accord préalable entre constructeur et utilisateur, 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.

#### 15.1.3 *Essais de série*

Les essais de série sont exécutés afin de vérifier que les propriétés d'un produit correspondent à celles qui sont mesurées lors de l'essai de type. Les essais de série doivent être exécutés par le constructeur, en principe sur chacun des divers organes ou équipements du même type.

## 14. Self-commutated indirect a.c. convertor

### *General*

If delivered by one manufacturer, indirect a.c. convertors shall be specified in the same way as direct a.c. convertors.

If rectifier and inverter are separately delivered by different manufacturers, Clauses 11 and 12 apply for the respective components.

*Note.* — In the case of indirect convertors, interactions may occur between the main circuits, the control equipment and the protection circuits of both components. Therefore, in this case a special specification for each constitutive component set is recommended.

## 15. Tests on convertors

*Note.* — It is advisable to confine the performance of costly tests to those which are necessary. The following recommendations are so framed that most of the tests can normally be carried out in the manufacturer's works on the sub-assemblies of the convertor.

### 15.1 Categories of tests

#### 15.1.1 General

There are three categories of tests:

- type tests;
- routine tests;
- investigation tests.

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

#### 15.1.2 Type tests

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

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 on it 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.

Subject to previous agreement between manufacturer and user 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.

#### 15.1.3 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.

Toutefois, les procès-verbaux des essais de fabrication pourront être reconnus valables par l'utilisateur et lui être présentés à titre d'essai de série. L'utilisateur pourra alors contrôler par échantillonnage les résultats des essais de fabrication.

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

15.1.4 *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 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.

15.2 *Essais des blocs à semiconducteurs*

15.2.1 *Généralités*

Les essais de type, de série et d'investigation des blocs à semiconducteurs doivent être effectués conformément aux articles énumérés dans le tableau II.

TABLEAU II  
*Essais des blocs à semiconducteurs*

Nature de l'essai	Numéro des paragraphes		
	Essais d'investigation	Essais de type	Essais de série
Essai de refroidissement	-	15.2.2	-
Essais de tenue aux vibrations et aux chocs	-	15.2.3	-
Essai préliminaire à faible charge	-	-	15.2.4
Essai de commutation	-	15.2.5	-
Essai d'échauffement	-	15.2.6	-
Détermination des pertes	-	15.2.7	-
Vérification du générateur d'impulsions	-	-	15.2.8
Vérification du système de stabilisation	-	-	15.2.9
Essai d'isolement	-	-	15.2.11
Vérification des caractéristiques des thyristors	15.2.10	-	-

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

Tous les dispositifs et éléments à semiconducteurs, ainsi que les transformateurs et les autres composants du convertisseur, doivent être soumis à des essais de série avant le montage du groupe.

Sauf spécification contraire lors de la commande, la source d'alimentation à courant alternatif, ainsi que les tensions d'essai, doivent être à la fréquence nominale, sauf toutefois pour l'essai d'isolement, qui peut être effectué à toute fréquence appropriée (au choix du constructeur) comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

15.2.2 *Essai de refroidissement (essai de type)*

Cet essai a pour objet de déterminer le flux de fluide de refroidissement traversant les différents organes concernés.

However, the reports of the manufacturing tests may be recognized as valid by the user and presented to him by virtue of a routine test. The user may then check by random sampling the results of the manufacturing tests.

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

#### 15.1.4 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 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.

### 15.2 Test for semiconductor assemblies

#### 15.2.1 General

Type tests, routine tests and investigation tests on semiconductor assemblies shall be carried out in accordance with the clauses given in Table II.

TABLE II  
*Tests on semiconductor assemblies*

Nature of test	Sub-clause number		
	Investigation tests	Type tests	Routine tests
Cooling test	-	15.2.2	-
Tests for withstanding vibrations and shocks	-	15.2.3	-
Preliminary light load test	-	-	15.2.4
Commutation test	-	15.2.5	-
Temperature-rise test	-	15.2.6	-
Power loss determination	-	15.2.7	-
Checking trigger equipment	-	-	15.2.8
Checking stabilization means	-	-	15.2.9
Insulation test	-	-	15.2.11
Checks on thyristor characteristics	15.2.10	-	-

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

All semiconductor assemblies, transformers and other components of the convertor shall be routine tested before assembly into a convertor.

Unless otherwise agreed at the time of making the contract, the a.c. supply and the test voltages shall be of rated frequency except for the insulation test, which may be of any convenient frequency (at the manufacturer's choice) between 15 Hz and 100 Hz.

#### 15.2.2 Cooling test (type test)

The object of this test is to verify the cooling medium flow passing through the various components cooled by that medium.

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

- a) sous la tension correspondant à la tension nominale  $U_{LN}$ ;
- b) sous la tension correspondant à la tension minimale spécifiée.

Si, au contraire, ces groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs ne font pas partie intégrante du bloc, 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 de refroidissement égal à celui spécifié par le constructeur du bloc. Dans chaque cas on doit utiliser pour la circulation du fluide de refroidissement le conduit d'origine ou un modèle équivalent.

Suivant le cas, des essais doivent aussi être effectués pour vérifier l'efficacité des dispositions adoptées sur le convertisseur assemblé 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 constructeur et utilisateur.

### 15.2.3 *Essais de tenue aux vibrations et aux chocs (essais de type)*

Le bloc entier - ou une partie de ce bloc - selon accord entre constructeur et utilisateur, muni de ses auxiliaires et de ses accessoires de montage (y compris ses dispositifs amortisseurs, si le bloc est prévu pour être monté sur de tels dispositifs) doit être soumis aux essais des paragraphes 15.2.3.1 à 15.2.3.3 ci-dessous.

Pour les essais des paragraphes 15.2.3.1 et 15.2.3.2, le bloc est fixé dans la position convenable sur une machine provoquant des vibrations sinusoïdales d'amplitude et de fréquence réglables.

#### 15.2.3.1 *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 indiquée en fonction de la fréquence.

S'il se produit des résonances, la fréquence correspondante doit être maintenue pendant quelques minutes dans chaque cas.

#### 15.2.3.2 *Essais de vibrations soutenues*

Le bloc est ensuite soumis pendant un temps à fixer par accord entre constructeur et utilisateur, 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 15.2.3.1;
- soit 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 constructeur et utilisateur, le bloc peut être soumis, à titre d'investigation, à un essai de vibrations soutenues pendant une durée plus longue (25 h à 50 h).

#### 15.2.3.3 *Essais simulant l'effet des coups de tampon*

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

If the fan, pump or radiator set or sets form part of the assembly, the test shall be carried out with the set or sets supplied:

- a) at the voltage corresponding to the rated voltage  $U_{LN}$ ;
- b) at the voltage corresponding to the minimum voltage specified.

If, however, the fan, pump or radiator sets do not form a part of the assembly, the tests 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 assembly. In either case the original cooling medium channel or an equivalent model shall be used.

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

### 15.2.3 *Test for withstanding vibrations and shocks (type test)*

The complete assembly or one of its sub-assemblies, as agreed upon between manufacturer and user, together with its mounting arrangements and auxiliaries (including shock absorbing devices, if the assembly is designed for mounting on such devices) shall be subjected to the tests in Sub-clauses 15.2.3.1 to 15.2.3.3 below.

For the tests in Sub-clauses 15.2.3.1 and 15.2.3.2, the assembly shall be secured in a suitable position to a machine producing vibrations of sinusoidal form with adjustable amplitude and frequency.

#### 15.2.3.1 *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.

If resonance is produced, the corresponding frequency shall be maintained for a few minutes in each case.

#### 15.2.3.2 *Tests with sustained vibrations*

The assembly is next submitted to a test with sustained vibrations for a time, not less than 15 min, to be agreed upon between manufacturer and user:

- either at the critical frequency, if any such well-defined frequency has been detected in the course of the test of Sub-clause 15.2.3.1;
- 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 manufacturer and user as an investigation test, the assembly may be subjected to sustained vibrations for a longer period (25 h to 50 h).

#### 15.2.3.3 *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 assembly shall be submitted to a series of three successive shocks each corresponding to a maximum acceleration of  $30 \text{ m/s}^2$ .

#### 15.2.3.4 *Résultats des essais*

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

#### 15.2.4 *Essai à faible charge (essai de série)*

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

Au cours de l'essai, on doit faire varier la tension d'alimentation sur toute la plage de tension pour laquelle le convertisseur est conçu. La tension de sortie et la fréquence ainsi que des signaux appropriés de commande et de contrôle doivent être observés afin de vérifier le branchement et le fonctionnement corrects de l'appareil.

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

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

#### 15.2.5 *Essai de commutation (essai de type)*

Cet essai a pour but de vérifier que le convertisseur auto-commuté fonctionne correctement à son courant continu nominal et que la commutation s'effectue de façon satisfaisante.

L'essai doit être exécuté soit sur un véhicule terminé, soit en plate-forme.

Les bornes d'entrée du convertisseur sont connectées à une source dont la tension est égale à la tension minimale d'entrée et qui possède la même impédance interne que la source prévue sur le véhicule, lorsque l'impédance de la ligne est maximale.

*Note.* — Bien entendu, on peut utiliser l'alimentation réelle du véhicule.

Les bornes de sortie du convertisseur sont connectées à une charge donnant la valeur instantanée maximale du courant de sortie du convertisseur.

L'essai doit être poursuivi pendant une durée suffisante pour obtenir la température maximale des semi-conducteurs.

Pendant l'essai, on doit vérifier que le fonctionnement du convertisseur est convenable. Les paragraphes 15.2.5.1 à 15.2.5.5 donnent des exemples des dispositions à adopter. Bien entendu, il est possible de s'accorder sur d'autres dispositions au moment du contrat.

##### 15.2.5.1 *Essai de commutation des redresseurs auto-commutés à tension de sortie variable*

Le redresseur auto-commuté est relié à une source de tension alternative de valeur minimale, dont la fréquence est soit la fréquence nominale, soit une fréquence industrielle. Les bornes côté continu sont mises en série avec une résistance et une inductance. La valeur de la résistance peut être choisie par le constructeur. L'inductance est ajustée de façon à obtenir, côté continu, la valeur instantanée maximale spécifiée du courant.

En l'absence d'information sur cette valeur, l'inductance doit avoir la valeur de l'inductance de lissage corrigée selon le rapport de la fréquence nominale à la fréquence d'essai. Dans ce cas, on règle la valeur moyenne du courant côté continu pour obtenir la valeur nominale.

##### 15.2.5.2 *Essai de commutation des redresseurs auto-commutés à tension de sortie constante*

Les bornes, côté continu, du redresseur auto-commuté, y compris les éléments de lissage sont reliées aux bornes, côté continu, d'un onduleur. Les bornes, côté alternatif, du redresseur

#### 15.2.3.4 *Results of tests*

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

#### 15.2.4 *Light load test (routine test)*

This test is carried out to verify that the convertor is correctly connected and that its static control properly fulfils the requirements.

During the test, the supply voltage shall be varied over the entire range for which the convertor is designed. Output voltage and frequency and appropriate drive and control signals shall be observed to check for correct connection and operation.

A load resistor providing a load current of approximately 10% of the rated value is chosen.

The functioning of protective and warning devices shall be checked during this test.

#### 15.2.5 *Commutation test (type test)*

This test is carried out to verify, that the self-commutated convertor will operate at rated direct current and commutate satisfactorily.

The test shall be performed either on a complete vehicle or on a test bed.

The input terminals of the convertor shall be connected to a voltage source of minimum input voltage. It shall have the same internal impedance as the voltage source on the vehicle for maximum line impedance.

*Note.* — Of course, the actual voltage source of the vehicle can be used for this purpose.

The output terminals of the convertor shall be connected to a load which gives maximum instantaneous output current of the convertor.

The test shall be performed for a time sufficient to reach maximum semiconductor cell temperature.

During the test the proper operation of the convertor shall be checked. Sub-clauses 15.2.5.1 to 15.2.5.5 give examples for test configurations. Other types of test configurations may, of course, be agreed upon in the contract.

##### 15.2.5.1 *Commutation test of self-commutated rectifiers with variable output voltage*

The self-commutated rectifier shall be connected to an a.c. voltage of minimum value. The frequency shall be either the rated frequency or an industrial frequency. The d.c. terminals of the rectifier shall be connected in series with a resistor and an inductor. The value of the resistance may be chosen by the manufacturer. The inductance shall be adjusted to the value that gives the maximum specified instantaneous values of the d.c. current.

In the absence of information about this value, the inductance shall have the value of the smoothing inductance modified according to the ratio of rated frequency to the test frequency. In this case the mean value of the d.c. current shall be adjusted to its rated value.

##### 15.2.5.2 *Commutation test of self-commutated rectifiers with constant output voltage*

The d.c. terminals of the self-commutated rectifier including the smoothing elements shall be connected to the d.c. terminals of an inverter. The a.c. terminals of the self-commutated