

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 411-1

Première édition — First edition

1975

Convertisseurs de puissance pour la traction
Première partie: Convertisseurs monophasés de puissance à thyristors

Power convertors for electric traction
Part 1: Single-phase power convertors using thyristors



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

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

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

Terminologie utilisée dans la présente publication

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Autres 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 autres 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**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

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

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

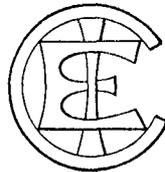
Publication 411-1

Première édition — First edition

1975

Convertisseurs de puissance pour la traction
Première partie : Convertisseurs monophasés de puissance à thyristors

Power converters for electric traction
Part 1: Single-phase power converters using thyristors



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Prix Fr. s. **65.-**
Price S. Fr.

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
CHAPTER I: GENERAL	
Clause	SECTION ONE — SCOPE AND SERVICE CONDITIONS
1. Scope	9
2. Reference to various I E C publications	9
3. Service conditions	9
SECTION TWO — DEFINITIONS	
4. General terms	11
5. Rating definitions	13
6. Definitions relating to efficiency	17
7. Factors on a.c. side	17
8. Terms used in connection with voltage regulation, d.c. side	17
9. Terms used in connection with cooling	19
10. A.C. system characteristics	21
SECTION THREE — TESTS	
11. Categories of tests	23
CHAPTER II: SEMICONDUCTOR THYRISTORS, DIODES AND STACKS	
12. Semiconductor thyristors and stacks	25
13. Semiconductor diodes and stacks	25
CHAPTER III: CONVERTOR TRACTION TRANSFORMERS AND REACTORS	
14. General	27
SECTION FOUR — TRANSFORMER TESTS	
15. General	27
16. Measurement of impedance voltages and load losses (type test)	27
17. Determination of total losses (type test)	27
18. Temperature-rise tests (type tests)	27
19. Insulation tests (routine tests)	27
SECTION FIVE — TESTS ON REACTORS	
20. General	29
21. Measurement of inductance (type test)	29
22. Temperature-rise tests (type tests)	29
23. Insulation tests (routine tests)	29
CHAPTER IV: CONVERTOR EQUIPMENT AND ASSEMBLIES	
SECTION SIX — SPECIAL RULES	
24. Supply voltages	31
25. Electrical connections	31
26. Calculation factors	31
27. Losses and efficiency	37
28. Power factor and displacement factor	37
29. Harmonics	39
30. Rated values for assemblies and equipment	39
31. Duty classes	39
32. Rating plate	39

Articles	Pages
SECTION SEPT — ESSAIS DES BLOCS THYRISTORS	
33. Généralités	38
34. Essai de refroidissement (essai de type)	38
35. Essais de tenue aux vibrations et aux chocs (essais de type)	40
36. Essai à faible charge (essai de série)	42
37. Essai de courant à basse tension d'alimentation (essai de type — essai de série facultatif)	42
38. Essai d'échauffement (essai de type)	44
39. Détermination des pertes (essai de type)	44
40. Vérification des propriétés du générateur d'impulsions (essai de série)	46
41. Vérification des propriétés du système de stabilisation incorporé (essai de série)	46
42. Vérification des caractéristiques des thyristors	46
43. Essais d'isolement (essais de série)	46
44. Essais des accessoires des blocs thyristors	48
SECTION HUIT — ESSAIS DES CONVERTISSEURS	
45. Généralités	48
46. Essais de type	48
47. Essais de type facultatifs	48
48. Essais de série	52
CHAPITRE V : TOLÉRANCES ÉVENTUELLES	
49. Tolérances éventuelles	54
ANNEXE — Thyristors et éléments thyristors	56

WithNorm.com: Click to view the full PDF of IEC 60477:1975

Clause		Page
SECTION SEVEN — TESTS FOR THYRISTOR ASSEMBLIES		
33.	General	39
34.	Cooling test (type test)	39
35.	Tests for withstanding vibrations and shocks (type tests)	41
36.	Light-load test (routine test)	43
37.	Current test at low-supply voltage (type test—optional routine test)	43
38.	Temperature-rise test (type test)	45
39.	Power loss determination (type test)	45
40.	Checking the properties of the trigger equipment (routine test)	47
41.	Checking the properties of incorporated stabilization means (routine test)	47
42.	Check of thyristor characteristics	47
43.	Insulation tests (routine tests)	47
44.	Tests on accessories for thyristor assemblies	49
SECTION EIGHT — TESTS ON CONVERTORS		
45.	General	49
46.	Type tests	49
47.	Optional type tests	49
48.	Routine tests	53
CHAPTER V : TOLERANCES IF ANY		
49.	Tolerances if any	55
APPENDIX — Thyristors and thyristor stacks		57

Withstand
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60417-77:1975

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS DE PUISSANCE POUR LA TRACTION
Première partie: Convertisseurs monophasés de puissance à thyristors

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 publication a été établie par le Sous-Comité 22D: Convertisseurs de puissance monophasés pour la traction électrique, du Comité d'Etudes N° 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le projet, document 22D(Bureau Central)9, fut discuté lors de la réunion tenue à Stockholm en octobre 1971 puis soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1973.

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

Afrique du Sud (République d')	Pays-Bas
Allemagne	Pologne
Belgique	Portugal
Etats-Unis d'Amérique	Roumanie
France	Royaume-Uni
Hongrie	Suède
Israël	Suisse
Italie	Turquie
Japon	

Afin de permettre la parution d'autres publications de la CEI concernant des questions voisines sous le titre général « Convertisseurs de puissance pour la traction », il est prévu d'amalgamer ultérieurement les Publications 411 (1973) et 411-1 en un seul fascicule qui paraîtra comme deuxième édition de la Publication 411-1. La Publication 411 sera alors retirée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER CONVERTORS FOR ELECTRIC TRACTION

Part 1: Single-phase power convertors using thyristors

FOREWORD

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

PREFACE

This publication has been prepared by Sub-Committee 22D, Single-phase Power Convertors for Electric Traction, of IEC Technical Committee No. 22, Power Electronics.

The draft, document 22D(Central Office)9, was discussed at the meeting held in Stockholm in October 1971, then submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Portugal
France	Romania
Germany	South Africa (Republic of)
Hungary	Sweden
Israel	Switzerland
Italy	Turkey
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America
Poland	

In order to enable further IEC publications on related subject matter to be issued under the general heading "Traction power convertors", it is the intention, in the future, to combine Publication 411 (1973) and Publication 411-1 into a single booklet that will be issued as the second edition of Publication 411-1. Publication 411 will then be withdrawn.

CONVERTISSEURS DE PUISSANCE POUR LA TRACTION

Première partie: Convertisseurs monophasés de puissance à thyristors

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique, dans les conditions ci-après, aux convertisseurs destinés à l'équipement de véhicules monophasés de traction dont la fréquence nominale d'alimentation est comprise entre 15 Hz et 60 Hz.

1.1 La norme est limitée aux convertisseurs dans lesquels sont utilisés des thyristors semi-conducteurs à blocage inverse, ou une combinaison de thyristors à blocage inverse et de diodes de redressement à semi-conducteurs, mais elle peut aussi être employée, dans la mesure où elle reste applicable, pour les convertisseurs utilisant des thyristors bidirectionnels. Le terme « thyristor » est utilisé dans la publication comme abréviation de « thyristor triode à blocage inverse ».

Elle ne s'applique qu'aux convertisseurs monophasés à commutation par le réseau.

Elle a été établie pour les convertisseurs alimentant les circuits de traction des véhicules. En principe, elle s'applique également aux convertisseurs destinés à l'alimentation des services auxiliaires desdits véhicules.

Elle peut aussi être appliquée aux convertisseurs des véhicules bifréquences, ainsi qu'aux interrupteurs de courant alternatif, s'ils font partie d'un groupe convertisseur statique; les détails d'application sont alors fixés par accord entre utilisateur et constructeur.

1.2 Des modifications peuvent être apportées à la présente norme à condition qu'elles soient décidées en commun accord avant signature du contrat.

2. Renvoi à diverses publications de la CEE

Les articles des publications de la CEE 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 publication.

- Publication 84: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure.
- Publication 84A: Premier complément à la Publication 84 (1957): Onduleurs à vapeur de mercure.
- Publication 84B: Deuxième complément à la Publication 84 (1957): Convertisseurs à vapeur de mercure à puissance réversible.
- Publication 146: Convertisseurs à semiconducteurs (deuxième édition).
- Publication 411: Convertisseurs statiques monophasés de puissance pour la traction.
- Publication 310: Règles applicables aux transformateurs de traction et aux inductances de traction.
- Publication 77: Règles applicables à l'appareillage électrique de traction (deuxième édition).
- Publication 165: Règles pour les essais des véhicules moteurs de traction électrique après achèvement et avant mise en service (deuxième édition).
- Publication 349: Règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers.

3. Conditions de service

3.1 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.

3.2 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 $+ 25^{\circ}\text{C}$.

POWER CONVERTORS FOR ELECTRIC TRACTION

Part 1: Single-phase power convertors using thyristors

CHAPTER I: GENERAL

SECTION ONE. — SCOPE AND SERVICE CONDITIONS

1. Scope

This standard applies, in the conditions set out below, to convertors intended for service on single-phase rolling stock supplied with current of any rated frequency between 15 Hz and 60 Hz.

1.1 The standard is restricted to convertors where semiconductor reverse blocking triode thyristors or a combination of reverse blocking triode thyristors and semiconductor rectifier diodes are used, but it may also be applied for convertors with bidirectional thyristors in so far as applicable. The term “thyristor” is used as an abbreviation for “reverse blocking triode thyristor”.

It applies only to single-phase convertors in which the commutating voltage is supplied by the system.

It has been drawn up for convertors supplying vehicle traction circuits. In principle, it also applies to convertors provided for feeding the auxiliary services on these vehicles.

It can also be applied to convertors for dual frequency vehicles and to a.c. switches if these form a part of static convertor equipment; details of such application are determined by agreement between user and manufacturer.

1.2 Modifications may be made to this standard provided that they are mutually agreed before a contract is signed.

2. Reference to various IEC publications

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

- Publication 84: Recommendations for Mercury-arc Convertors.
- Publication 84A: First supplement to Publication 84 (1957): Mercury-arc Inverters.
- Publication 84B: Second supplement to Publication 84 (1957): Mercury-arc Convertors for Reversible Power.

- Publication 146: Semiconductor Convertors (second edition).
- Publication 411: Single-phase Traction Power Convertors.
- Publication 310: Rules for Traction Transformers and Reactors.
- Publication 77: Rules for Electric Traction Equipment (second edition).
- Publication 165: Rules for the Testing of Electric Rolling Stock on Completion of Construction and Before Entry into Service (second edition).
- Publication 349: Rules for Rotating Electrical Machines for Rail and Road Vehicles.

3. Service conditions

3.1 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.

3.2 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 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, with an annual average temperature not exceeding $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3 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 m/s ² (3 g)
latéralement	20 m/s ² (2 g)
verticalement	10 m/s ² (1 g)

(g étant la valeur de l'accélération due à la pesanteur).

3.4 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, par exemple: charge inductive, force contre-électromotrice, etc.

3.5 Conditions spéciales

Des dispositions particulières, fixées par accord entre utilisateur et constructeur, doivent être prises lorsque les conditions diffèrent de celles mentionnées aux paragraphes 3.1 à 3.3, par exemple:

- altitude supérieure à 1 200 m;
- température ambiante supérieure à 40 °C;
- température minimale inférieure à - 25 °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 des modalités à fixer par accord entre utilisateur et constructeur.

SECTION DEUX — DÉFINITIONS

Note. — Sauf stipulations contraires de la présente section, 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.

4. Termes généraux

4.1 Désignation des enroulements du transformateur

4.1.1 Enroulement côté ligne: enroulement directement connecté à la ligne de contact. Le transformateur peut comporter un ou plusieurs circuits magnétiques et un ou plusieurs enroulements intermédiaires.

4.1.2 Enroulements côté cellules: enroulements connectés aux bornes du bloc convertisseur.

4.2 Taux d'ondulation du courant côté continu

Le taux d'ondulation du courant côté continu, exprimé en pour-cent, est défini conventionnellement par la formule:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100$$

dans laquelle I_{\max} et I_{\min} représentent respectivement la valeur maximale et la valeur minimale de l'onde de courant.

3.3 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:

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

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

- that the maximum accelerations of shocks are:

horizontally (in the direction of motion of the vehicle)	30 m/s ² (3 g)
transversely	20 m/s ² (2 g)
vertically	10 m/s ² (1 g)

(g being the value of acceleration due to gravity).

3.4 Nature of load

In view of the fact that the nature of the load may affect the operating characteristics of a convertor or convertor component, the nature of the load shall always be specified, e.g. inductive load, back e.m.f., etc.

3.5 Special conditions

Special arrangements shall be agreed between user and manufacturer when conditions differ from those mentioned in Sub-clauses 3.1 to 3.3, for example:

- altitude exceeding 1 200 m;
- ambient temperature above 40 °C;
- minimum temperature below - 25 °C;
- high average temperature plus high air humidity;
- torrential rains, sand or snow storms, 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 user and manufacturer.

SECTION TWO — DEFINITIONS

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

4. General terms

4.1 Designation of transformer windings

4.1.1 Line winding: the winding which is directly connected to the contact system. The transformer may comprise one or several magnetic circuits and one or several intermediate windings.

4.1.2 Cell windings: the windings connected to the terminals of the convertor assembly.

4.2 D.C. ripple factor

The d.c. ripple factor, expressed in per cent, is given conventionally by the formula:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100$$

in which I_{\max} and I_{\min} represent respectively maximum and minimum values of the current wave.

4.3 Générateur d'impulsions

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

4.4 Dispositif de réglage

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

4.5 Tension de crête fictive à vide U_{i0m}

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

4.6 Tension de crête fictive U_{im}

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

5. Définitions relatives au régime nominal

5.1 Régime nominal en général

La ou les valeur(s) des grandeurs électriques, thermiques, mécaniques et ambiantes attribuée(s) à un thyristor, à une diode, à un élément, à un bloc ou à un convertisseur, pour définir les conditions de fonctionnement dans lesquelles on peut s'attendre à ce que l'appareil assure un service satisfaisant.

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

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

5.2 Régime nominal des transformateurs pour convertisseurs de traction

5.2.1 Les régimes continus des divers enroulements du transformateur doivent être déterminés par le constructeur, conformément aux stipulations de l'article 6 de la Publication 310 de la C E I, 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'empiètement, suivant accord entre utilisateur et constructeur.

5.2.2 Fréquence nominale f_N

Fréquence nominale du réseau d'alimentation.

5.2.3 Tension nominale côté ligne U_{LN}

Tension efficace applicable dans les conditions normales de fonctionnement à l'ensemble de l'enroulement côté ligne. Si cet enroulement est muni de prises, la tension nominale doit se rapporter à la prise principale.

Sauf accord particulier entre utilisateur et constructeur, la tension nominale côté ligne est spécifiée comme étant égale à la tension nominale du réseau de traction.

Note. — La Publication 349 de la C E I donne la liste des tensions nominales des réseaux de traction.

5.2.4 Tension nominale côté cellules U_{v0}

Tension efficace à vide entre bornes de phase à commutation consécutive des enroulements côté cellules d'un groupe commutant, l'enroulement côté ligne étant alimenté à sa tension nominale (voir la figure 1, page 14).

Si l'enroulement côté cellules est muni de prises, la tension nominale doit se rapporter à la prise principale.

4.3 Trigger equipment

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

4.4 System control equipment

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

4.5 Ideal crest no-load voltage U_{i0m}

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

4.6 Ideal crest voltage U_{im}

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

5. Rating definitions

5.1 Rating in general

The value or values of the electrical, thermal, mechanical and environmental quantities assigned to define the operating conditions under which a thyristor, a diode, a thyristor or diode stack, an assembly or convertor is expected to give satisfactory service.

Notes 1. — Unlike many other electrical components, semiconductor devices may be irreparably damaged by operation in excess of the maximum rated values even during a very short time.

2. — Where variations in a rated value are not generally understood and may be significant, they shall be specified. Certain of the values assigned are limiting values. These limiting values may be either maximum or minimum values.

5.2 Ratings for convertor traction transformers

5.2.1 The continuous ratings of the various transformer windings shall be determined by the manufacturer, in accordance with the requirements of Clause 6 in 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 user and manufacturer.

5.2.2 Rated frequency f_N

The nominal frequency of the supply network.

5.2.3 Rated voltage on line side U_{LN}

The r.m.s. voltage applicable in normal operating conditions to the line-side winding group. If this winding has tapplings, the rated voltage shall be referred to the principal tapping.

Unless otherwise agreed between user and manufacturer, the rated line-side voltage is specified as being equal to the nominal voltage of the traction system.

Note. — IEC Publication 349 gives the list of the nominal voltages of the traction systems.

5.2.4 Rated voltage on cell side U_{v0}

The r.m.s. no-load voltage between consecutive commutating phase terminals of the cell windings of a commutating group at rated voltage on the line side (see Figure 1, page 15).

If the cell winding is provided with tapplings, the rated voltage shall refer to the principal tapping.

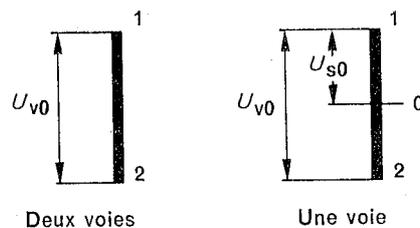


FIGURE 1. — Schémas des enroulements côté cellules.

5.2.5 *Note.* — La définition d'une prise principale, donnée dans la Publication 310 de la CEI, est rappelée ci-après :

La prise principale est celle qui permet d'obtenir, aux bornes des moteurs de traction, la tension nominale de ces moteurs lorsqu'ils absorbent l'intensité de leur régime continu, l'enroulement côté ligne du transformateur étant alimenté sous sa tension nominale et à la fréquence nominale.

Lorsque des prises intermédiaires sont placées à la fois sur l'enroulement côté ligne et sur l'enroulement traction, les prises principales sont celles spécifiées.

5.2.6 *Courant nominal en régime continu côté cellules I_{vN}*

Valeur efficace du courant dans les bornes côté cellules du transformateur, calculée à partir du courant continu nominal en régime continu du convertisseur. La base du calcul doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

5.2.7 *Courant nominal en régime continu côté ligne I_{LN} , correspondant au courant nominal en régime continu côté cellules*

Valeur efficace du courant dans les bornes côté ligne du transformateur, calculée à partir du courant continu nominal en régime continu du convertisseur. La base de calcul doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

5.2.8 *Courant nominal global en régime continu côté ligne I_{LGN}*

Valeur efficace du courant dans les bornes côté ligne du transformateur, calculée à partir du courant continu nominal en régime continu du convertisseur et en tenant compte de la charge des enroulements auxiliaires.

5.2.9 *Puissance apparente globale en régime continu côté ligne*

Produit de la tension nominale U_{LN} (paragraphe 5.2.3) par le courant nominal global en régime continu côté ligne I_{LGN} (paragraphe 5.2.8).

5.3 *Régime nominal des convertisseurs*

5.3.1 *Courant continu nominal en régime continu I_{dN}*

Valeur moyenne du courant continu que le convertisseur est capable de supporter en régime continu.

5.3.2 *Tension continue nominale U_{dN}*

Valeur moyenne de la tension entre les bornes côté continu du convertisseur correspondant au courant continu nominal en régime continu I_{dN} , à la tension nominale de la ligne U_{LN} , à la prise principale du transformateur (voir le paragraphe 5.2.5) et, s'il y a lieu, à la valeur spécifiée de l'angle de retard.

5.3.3 *Puissance nominale en régime continu côté continu*

Produit de la tension continue nominale U_{dN} par le courant continu nominal en régime continu I_{dN} .

5.3.4 *Régimes de courte durée*

On peut aussi attribuer au convertisseur des régimes de courant continu de plus courte durée mais de valeur plus élevée pour tenir compte des surcharges temporaires, des conditions de défaut et, s'il y a lieu, du courant nominal de récupération. Les autres grandeurs dépendant du courant continu (par exemple le courant côté ligne) varieront en conséquence, mais en général elles ne seront pas spécifiées ni garanties.

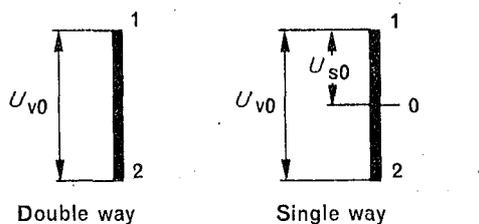


FIGURE 1. — Diagrams of the cell-side windings.

5.2.5 *Note.* — The definition of a principal tapping, given in IEC Publication 310, is reproduced below:
 The principal tapping is that which enables the rated traction motor voltage to be obtained at the terminals of the motors when they are taking their continuously rated current, the transformer line-side winding being supplied at rated voltage and frequency.
 When both line-side windings and traction windings have intermediate tapplings, the principal tapplings are those specified.

5.2.6 *Rated continuous current on the cell side* I_{vN}

The r.m.s. current in the terminals of the transformer on the cell side, calculated from the rated continuous direct current of the convertor. The basis of calculation is that agreed between user and manufacturer.

5.2.7 *Rated continuous current on the line side* I_{LN} , corresponding to the rated continuous current on the cell side

The r.m.s. current in the line terminals of the transformer, calculated from the rated continuous direct current of the convertor. The basis of calculation is that agreed between user and manufacturer.

5.2.8 *Total rated continuous line current* I_{LGN}

The r.m.s. current in the line terminals of the transformer, calculated from the rated continuous direct current of the convertor and allowing for the load on the auxiliary windings.

5.2.9 *Total rated continuous apparent power on the line side*

The product of the rated voltage U_{LN} (Sub-clause 5.2.3) and the total rated continuous line current I_{LGN} (Sub-clause 5.2.8).

5.3 *Ratings for convertors*

5.3.1 *Rated continuous direct current* I_{dN}

The mean value of the direct current which the convertor is capable of carrying continuously.

5.3.2 *Rated direct voltage* U_{dN}

The rated mean value of the voltage between d.c. terminals of the convertor corresponding to the rated continuous direct current I_{dN} at the rated line voltage U_{LN} at the principal transformer tapping (see Sub-clause 5.2.5) and, where applicable, at the specified delay angle.

5.3.3 *Rated continuous d.c. power*

The product of the rated direct voltage U_{dN} and the rated continuous direct current I_{dN} .

5.3.4 *Short-time ratings*

The convertors may also have assigned to them direct current ratings of shorter duration but of higher value to cater for temporary overloads, fault conditions and, if applicable, the rated regenerative current. The corresponding other quantities which depend on the direct current will vary accordingly (e.g. the current on the line side), but generally they will not be specified or guaranteed.

5.3.5 Cycle de service spécifié

Ce cycle est donné sous forme de diagramme indiquant la variation du courant et de la tension côté continu en fonction du temps; il doit tenir compte d'un fonctionnement éventuel en récupération. Ce diagramme est habituellement cyclique.

6. Définitions relatives au rendement

Le rendement est le rapport entre la puissance fournie et la puissance absorbée. La puissance fournie et la puissance absorbée peuvent être des puissances continues ou des puissances alternatives selon que le convertisseur fonctionne en redresseur ou en onduleur.

6.1 Rendement en puissance

Rapport entre la puissance totale côté continu et la puissance totale côté alternatif ou inversement.

Note. — Le rendement en puissance peut être obtenu soit par mesure, au wattmètre, des puissances côté alternatif et côté continu (méthode directe), soit par calcul faisant intervenir les pertes dans le convertisseur (méthode des pertes séparées).

6.2 Facteur de conversion

Dans le cas des convertisseurs monophasés associés à des moteurs de traction avec inductances de lissage, on préfère généralement faire usage du facteur de conversion, défini comme suit, rapport du produit des valeurs moyennes de la tension et du courant, côté continu, à la puissance totale, côté alternatif, ou inversement.

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.

7. Facteurs du côté alternatif

7.1 Facteur de puissance global λ

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

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

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

7.3 Facteur de déformation ν

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

8. Termes relatifs à la variation de tension, côté continu

8.1 Tension continue fictive à vide U_{d10}

Valeur moyenne de la tension continue théorique d'un convertisseur en supposant qu'il n'y a ni réduction de tension par réglage de phase, ni chute de tension dans les blocs, ni remontée de tension aux faibles charges. Elle se déduit de la tension U_{v0} (voir le paragraphe 5.2.4) au moyen des formules:

$$U_{d10} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times U_{v0} = 0,45 U_{v0} \text{ pour les montages à une voie,}$$

$$U_{d10} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times U_{v0} = 0,9 U_{v0} \text{ pour les montages à deux voies.}$$

Lorsque la tension continue est fournie par le montage en série de plusieurs convertisseurs monophasés, la formule donnée ci-dessus est applicable pour chaque convertisseur individuel. La tension continue fictive à vide résultante est alors la somme des tensions continues fictives à vide de tous les convertisseurs.

5.3.5 Specified duty cycle

This is given by a diagram showing the variation of the direct current and voltage with time, taking regenerative operation into account, if necessary. This diagram is usually cyclic.

6. Definitions relating to efficiency

The efficiency is the ratio of the output power to the input power. Output and input power may be d.c. power or a.c. power depending upon the operation of the convertor as a rectifier or as an inverter.

6.1 Power efficiency

The ratio of the total power on the d.c. side to the total power on the a.c. side or vice versa.

Note. — The power efficiency can be obtained either by measurement with wattmeters of the powers on a.c. and d.c. sides (direct measurement method) or by calculation taking into account the losses in the convertor (summation of losses method).

6.2 Conversion factor

In the case of single-phase convertors used with traction motors with smoothing reactors, it is generally preferred to utilize the conversion factor which is defined as the ratio of the product of the mean values of the voltage and the current on the d.c. side to the total power on the a.c. side or vice versa.

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

7. Factors on a.c. side

7.1 Total power factor λ

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

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

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

7.3 Deformation factor ν

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

8. Terms used in connection with voltage regulation, d.c. side

8.1 Ideal no-load direct voltage U_{d10}

The ideal no-load mean direct voltage of a convertor, which assumes no voltage reduction by phase control, no voltage drop in the assemblies and no voltage rise at small loads, is obtained from the voltage U_{v0} (see Sub-clause 5.2.4) by the formulae:

$$U_{d10} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times U_{v0} = 0.45 U_{v0} \text{ for single-way connection,}$$

$$U_{d10} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times U_{v0} = 0.9 U_{v0} \text{ for double-way connection.}$$

When the d.c. voltage is obtained by the series connection of several single-phase convertors, the above formula is applicable for each individual convertor. The resulting ideal no-load d.c. voltage is then the sum of the ideal no-load d.c. voltages of all convertors.

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

Valeur moyenne de la tension continue théorique d'un convertisseur en supposant qu'il y a réduction de la tension par réglage de phase, mais qu'il n'y a ni chute de tension dans les blocs, ni remontée de tension aux faibles charges. Elle est donnée, en fonction de l'angle de retard α , par les formules suivantes:

8.2.1 Montages homogènes du convertisseur

Commande symétrique:

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

Commande asymétrique:

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{2}$$

8.2.2 Montages hétérogènes du convertisseur

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

9. Termes se rapportant au refroidissement

9.1 Termes relatifs au refroidissement

9.1.1 Refroidissement naturel à l'air

Refroidissement par convection naturelle de l'air ambiant.

9.1.2 Refroidissement par ventilation forcée

Refroidissement au moyen d'un dispositif de ventilation forcée, un ventilateur par exemple. L'air de refroidissement peut provenir du voisinage immédiat ou d'un endroit dont la température diffère de celle de l'air ambiant.

9.1.3 Refroidissement par fluide refroidi à l'air

Refroidissement par circulation d'un agent de transfert de la chaleur (gaz ou liquide), refroidi par l'air. La circulation du fluide et le refroidissement de l'air peuvent être respectivement naturels ou forcés.

9.1.4 Refroidissement naturel par immersion dans un liquide

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

9.1.5 Refroidissement forcé par immersion dans un liquide

Refroidissement par circulation, du type thermosiphon, d'un liquide refroidi par ventilation forcée à l'extérieur de l'enveloppe.

9.2 Définitions relatives à la température

9.2.1 Température de l'air de refroidissement pour les éléments prévus pour refroidissement naturel

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

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

9.2.2 Température de l'air de refroidissement pour les éléments prévus pour la ventilation forcée

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

9.2.3 Température ambiante d'un bloc

Température de l'air ambiant à une distance du bloc voisine de 1 m, à mi-hauteur de celui-ci, et à un emplacement protégé à la fois des radiations calorifiques et des effets de la ventilation forcée.

8.2 *Controlled ideal no-load direct voltage* $U_{d10\alpha}$

The ideal no-load mean direct voltage of a converter when the direct voltage is reduced by phase control assuming no voltage drop in the assemblies and no voltage rise at small loads. It is given as a function of delay angle α by the following formulae:

8.2.1 *Uniform convertor connections*

Symmetrical control:

$$U_{d10\alpha} = U_{d10} \cdot \cos \alpha$$

Asymmetrical control:

$$U_{d10\alpha} = U_{d10} \cdot \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{2}$$

8.2.2 *Non-uniform convertor connections*

$$U_{d10\alpha} = U_{d10} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

9. **Terms used in connection with cooling**

9.1 *Cooling terms*

9.1.1 *Natural air cooling*

Cooling by the natural convection of the ambient air.

9.1.2 *Cooling by forced ventilation*

Cooling by a forced ventilation arrangement, e.g. a fan. The cooling air can be taken from the immediate proximity or from a place at a different temperature from that of the ambient air.

9.1.3 *Fluid-to-air cooling*

Cooling by a circulating heat transfer agent (gas or liquid), which is cooled by air. The fluid circulation and the air cooling can be natural or forced, respectively.

9.1.4 *Liquid-immersed natural cooling*

Cooling by a thermo-siphon circulating a liquid heat transfer agent which is cooled by natural air circulation on the outside of the container.

9.1.5 *Liquid-immersed forced cooling*

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

9.2 *Temperature definitions*

9.2.1 *Cooling air temperature for stacks rated for natural air cooling*

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

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

9.2.2 *Cooling air temperature for stack rated for cooling by forced ventilation*

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

9.2.3 *Ambient temperature for an assembly*

The temperature of the ambient air at a distance of about 1 m from the assembly at half of the height of the assembly and at a place protected from both heat radiation and forced ventilation.

9.2.4 Température du fluide de refroidissement

Température du fluide de refroidissement à l'entrée du spécimen en essai.

10. Caractéristiques du réseau à courant alternatif

10.1 Forme d'onde de la tension alternative

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

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

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 2, 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:

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



FIGURE 2

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

10.2 Variations de la tension alternative

Pour les diodes, thyristors et éléments, aucune augmentation de la tension directe et/ou inverse au-dessus des valeurs nominales n'est admise. On doit en tenir compte lors du choix des diodes, thyristors et éléments.

10.3 Variation de la fréquence du réseau à courant alternatif

La fréquence du réseau à courant alternatif peut varier:

- de 15 Hz à 17,5 Hz pour les réseaux à $16^{2/3}$ Hz;
- de 48 Hz à 51 Hz pour les réseaux à 50 Hz.

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

10.4 Impédance du réseau à courant alternatif

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

9.2.4 Cooling fluid temperature

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

10. A.C. system characteristics

10.1 Wave-form of alternating voltage

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

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

The waveform of a voltage is considered sinusoidal in this standard if the largest deviation ($a-b$) in Figure 2 from the instantaneous value b of the fundamental wave does not exceed 10% of the crest value c of the fundamental wave. That is:

$$|a-b| < |0.10 c|$$

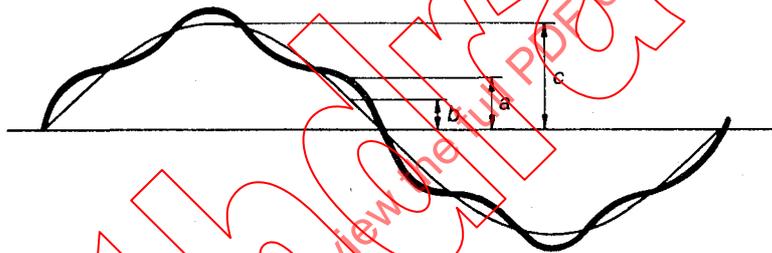


FIGURE 2

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

10.2 A.C. voltage variations

For diodes, thyristors and stacks, no increase of forward and/or reverse voltage above rated values is allowable. This factor shall be taken into consideration when selecting diodes, thyristors and stacks.

10.3 A.C. line frequency variation

A.C. line frequency may vary:

- from 15 Hz to 17.5 Hz for $16^{2/3}$ -Hz systems;
- from 48 Hz to 51 Hz for 50-Hz systems.

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

10.4 A.C. system impedance

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

SECTION TROIS — ESSAIS

Note. — Il est désirable de limiter l'exécution des essais coûteux à ceux qui sont nécessaires. La présente norme est conçue de telle façon que la plupart des essais peuvent normalement être effectués, dans les ateliers du constructeur, sur les constituants du convertisseur, en accord avec les chapitres II, III et IV.

11. Catégories d'essais

11.1 Généralités

Il existe trois catégories d'essais :

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

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

11.2 Essais de type

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

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

Si un convertisseur complet ou l'un de ses éléments constitutifs est identique ou similaire à un appareil essayé antérieurement, le constructeur 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 convention contraire, de recommencer ces essais sur l'appareil considéré.

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

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

11.3 Essais de série

Les essais de série sont exécutés dans le but de vérifier que les propriétés d'un produit correspondent à celles 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.

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.

11.4 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.

SECTION THREE — TESTS

Note. — It is advisable to confine the performance of costly tests to those which are necessary. This standard is so framed that most of the tests can normally be carried out in the manufacturer's works on the components of the convertor in accordance with Chapters II, III and IV.

11. Categories of tests

11.1 General

There are three categories of tests:

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

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

11.2 Type tests

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

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

If a complete convertor or an individual component of it is identical with or similar to one previously tested, the manufacturer may supply a certificate of previous tests on it which shall cover at least 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 user and manufacturer, some or all of these tests may be repeated from time to time on samples of diodes or 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 to be carried out only if they are particularly specified in the contract.

11.3 Routine tests

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

However, the certificates of the manufacturer's tests may be taken as valid by the user and presented to him by way of a routine test. The user may then check by sampling the results of the manufacturer's tests.

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

11.4 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 required only 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.

CHAPITRE II : THYRISTORS, DIODES ET ÉLÉMENTS À SEMI-CONDUCTEURS

12. Thyristors et éléments à semi-conducteurs

Des spécifications pour les thyristors et éléments qui font partie de convertisseurs fournis en conformité avec la présente norme sont reproduites dans l'annexe A.

13. Diodes et éléments à semi-conducteurs

Des spécifications pour les diodes et éléments qui font partie de convertisseurs fournis en conformité avec la présente norme sont données dans la Publication 411 de la CEI.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60417-1:1975
Withdrawn

CHAPTER II : SEMICONDUCTOR THYRISTORS, DIODES AND STACKS

12. Semiconductor thyristors and stacks

Specifications for thyristors and stacks which are components of convertors delivered in accordance with this standard are given in Appendix A.

13. Semiconductor diodes and stacks

Specifications for diodes and stacks which are components of convertors delivered in accordance with this standard are given in IEC Publication 411.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60417-1-1:1975
Withdrawn

CHAPITRE III : TRANSFORMATEURS ET BOBINES D'INDUCTANCE POUR CONVERTISSEURS DE TRACTION

14. Généralités

Les règles du présent chapitre se réfèrent 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 aussi être appliquées aux transformateurs et aux inductances de convertisseurs.

Pour le régime continu du transformateur, voir le paragraphe 5.2 de la présente publication.

SECTION QUATRE — ESSAIS DES TRANSFORMATEURS

15. 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 ou compléments indiqués dans les articles 16 à 19 de la présente publication.

16. Mesure des tensions de court-circuit et des pertes dues à la charge (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 des paragraphes 16.1 et 16.2.

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

16.2 Dans le cas de montage à une voie, les tensions de court-circuit et les pertes doivent être mesurées aux bornes de l'enroulement côté ligne, en établissant successivement le court-circuit entre bornes 0 et 1, puis entre bornes 0 et 2 de l'enroulement côté cellules (voir la figure 1, page 14).

Ces mesures doivent être faites seulement sur la prise principale.

17. 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 montages à une voie, les pertes doivent être prises égales à la demi-somme des puissances relevées lors de l'essai de type faisant l'objet du paragraphe 16.2.

18. Essais d'échauffement (essais de type)

Les essais d'échauffement des transformateurs sont effectués sans bloc de thyristors en courant alternatif pratiquement sinusoïdal à la fréquence nominale.

Les essais doivent être effectués comme indiqué dans la Publication 310 de la CEI.

Toutefois, dans le cas des montages à une voie, une correction convenable doit être appliquée pour tenir compte du rapport réel entre valeurs efficaces des courants côté cellules et côté ligne.

19. Essais d'isolement (essais de série)

Ces essais doivent être effectués conformément aux prescriptions de la Publication 310 de la CEI (Essais diélectriques).

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

CHAPTER III : CONVERTOR TRACTION TRANSFORMERS AND REACTORS

14. General

The rules of this chapter 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.

For transformer continuous rating, see Sub-clause 5.2 of this publication.

SECTION FOUR — TRANSFORMER TESTS

15. General

The tests and measurements and their methods of performance to be applied to convertor transformers are those specified in IEC Publication 310, except for the modifications or additions given in Clauses 16 to 19 of this publication.

16. Measurement of impedance voltages and load losses (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 type tests of Sub-clause 16.1 and 16.2.

16.1 In the case of several independent cell windings, impedance voltages and losses shall be measured between each pair of cell windings.

16.2 In the case of single-way connection, the impedance voltages and losses shall be measured at the terminals of the line winding, the short circuit being established successively between terminals 0 and 1, then between terminals 0 and 2 of the cell winding (see Figure 1, page 15).

These measurements shall be taken at the principal tapping only.

17. Determination of total losses (type test)

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

In the case of single-way connection, the losses shall be taken as half the sum of the losses recorded during the type test specified in Sub-clause 16.2.

18. Temperature-rise tests (type tests)

Transformer temperature-rise tests are carried out without the thyristor assembly, with an approximately sinusoidal a.c. at rated frequency.

Tests shall be carried out as specified in IEC Publication 310.

However, in the case of single-way connection, an appropriate correction shall be applied in order to take into account the actual ratio between r.m.s. values of the currents on the cell side and on the line side.

19. Insulation tests (routine tests)

These tests shall be carried out in accordance with the requirements of IEC Publication 310 (Dielectric tests).

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

TABLEAU I

Montages	
Une voie	Deux voies
$2,25 U_{s0} + 2\,000 \text{ V}$	$2,25 U_{v0} + 2\,000 \text{ V}$
Où U_{s0} et U_{v0} sont les tensions définies au paragraphe 5.2.4	

SECTION CINQ — ESSAIS DES INDUCTANCES

20. 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 ou compléments indiqués dans les articles 21 à 23 de la présente publication.

21. 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 utilisateur et constructeur. L'inductance doit être mesurée en fonction de la valeur moyenne arithmétique 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. L'utilisateur et le constructeur 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.

22. Essais d'échauffement (essais de type)

Les essais d'échauffement d'une inductance doivent être effectués conformément aux prescriptions de la Publication 310 de la CEI. S'il s'agit d'inductances de lissage, l'essai doit être effectué en courant ondulé à la valeur garantie ou spécifiée.

23. Essais d'isolement (essais de série)

Ces essais doivent être effectués conformément aux prescriptions de la Publication 310 de la CEI (Essais diélectriques).

TABLE I

Connections	
Single way	Double way
$2.25 U_{s0} + 2\,000\text{ V}$	$2.25 U_{v0} + 2\,000\text{ V}$
Where U_{s0} and U_{v0} are voltages defined in Sub-clause 5.2.4	

SECTION FIVE — TESTS ON REACTORS

20. 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 Clauses 21 to 23 of this publication.

21. Measurement of inductance (type test)

Type and routine tests carried out as specified in IEC Publication 310 shall be completed, 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 current superimposed on the direct current, and shall be agreed between user and manufacturer. 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 passed successfully 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 user and the manufacturer 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.

22. Temperature-rise tests (type tests)

Temperature-rise tests on reactors shall be executed as stated in IEC Publication 310. In the case of smoothing reactors, the test shall be carried out with pulsating current at the guaranteed or specified value.

23. Insulation tests (routine tests)

These tests shall be executed as stated in IEC Publication 310 (Dielectric tests).

CHAPITRE IV : GROUPES ET BLOCS CONVERTISSEURS

SECTION SIX — PRESCRIPTIONS SPÉCIALES

24. Tensions d'alimentation

24.1 Sauf spécification contraire, le convertisseur doit pouvoir fournir les tensions et courants spécifiés pour toutes les valeurs de la tension côté ligne du transformateur du convertisseur comprises entre U_{LN} et $1,1 U_{LN}$ (voir le paragraphe 5.2.3).

24.2 A l'exception des cas traités dans les paragraphes 24.3 à 24.6, tous les organes ou dispositifs auxiliaires (groupes auxiliaires, dispositifs de commande, appareils, ...) de l'équipement du convertisseur doivent pouvoir démarrer et continuer à fonctionner indéfiniment pour toute valeur de leur tension d'alimentation comprise entre $0,7 U$ et $1,25 U$, U étant la tension nominale d'alimentation de l'organe considéré comme défini à l'article 4 de la Publication 77 de la CEI.

24.3 Quand la tension d'alimentation dépend directement de la tension alternative de la ligne, la limite supérieure de $1,25 U$, mentionnée au paragraphe 24.2, est réduite à $1,1 U$.

24.4 Quand l'organe ou le dispositif est alimenté soit par une génératrice auxiliaire munie d'un régulateur de tension, soit par une génératrice dont la tension est entièrement indépendante de la ligne d'alimentation, les limites données au paragraphe 24.2 doivent être ramenées respectivement à $0,8 U$ et à $1,1 U$.

24.5 Quand la tension d'alimentation est fournie soit par une batterie d'accumulateurs munie d'un dispositif spécial pour corriger les variations de la tension, soit par une source stabilisée, les limites de variation de la tension doivent être fixées par accord entre utilisateur et constructeur.

24.6 Dans des cas spéciaux où se produisent des chutes de tension importantes, par exemple dans le cas où le véhicule comporte des appareils ou dispositifs absorbant de fortes intensités, tels que les freins électromagnétiques, les limites inférieures données ci-dessus peuvent être réduites à une valeur définie d'un commun accord entre utilisateur et constructeur.

25. Montages

Le tableau II montre les montages les plus couramment utilisés dans le cas de traction monophasée. Dans un but de simplification, ce tableau ne montre que des circuits simples, mais on utilise souvent des montages en cascade de plusieurs circuits identiques.

Les facteurs pour le calcul des tensions et des courants sont précisés à l'article 26.

26. Facteurs pour les calculs

Le calcul des transformateurs de convertisseur et les valeurs des tensions appliquées aux éléments des circuits de convertisseur dépendent du montage du convertisseur. Les renseignements nécessaires pour les calculs sont donnés au tableau II en ce qui concerne les circuits de base simples.

26.1 Rapports de tensions

Le tableau II donne les rapports:

$$\frac{U_{a10}}{U_{v0}}, \frac{U_{i0m}}{U_{a10}} \text{ et } \frac{U_{1m}}{U_{a10}}$$

où:

U_{a10} = tension continue fictive à vide (paragraphe 8.1)

U_{v0} = tension nominale côté cellules (paragraphe 5.2.4)

U_{i0m} = tension de crête fictive à vide (paragraphe 4.5)

U_{1m} = tension de crête fictive (paragraphe 4.6)

Si plusieurs circuits identiques sont montés en cascade, la tension U_{a10} résultante est égale à la somme des tensions U_{a10} des circuits individuels.

CHAPTER IV : CONVERTOR EQUIPMENT AND ASSEMBLIES

SECTION SIX — SPECIAL RULES

24. Supply voltages

24.1 Unless otherwise agreed, the convertor shall be capable of supplying the specified voltages and currents for all values of the line-side voltage of the convertor transformer comprised between U_{LN} and $1.1 U_{LN}$ (see Sub-clause 5.2.3).

24.2 With the exception of cases forming the subject of Sub-clauses 24.3 to 24.6, any auxiliary component or device (auxiliary set, triggering device, control, ...) of convertor equipment shall be capable of starting and continuing to operate indefinitely at any value of its supply voltage comprised between $0.7 U$ and $1.25 U$, where U is the rated supply voltage of the considered component as defined in Clause 4 of IEC Publication 77.

24.3 When the supply voltage is directly dependent on the a.c. line voltage, the upper limit of $1.25 U$, mentioned in Sub-clause 24.2, is reduced to $1.1 U$.

24.4 When the component or device is supplied either by an auxiliary generator provided with a voltage regulator or by a generator, the voltage of which is completely independent of the supply line, the limits given in Sub-clause 24.2 are to be altered to $0.8 U$ and $1.1 U$ respectively.

24.5 When the supply voltage is provided either by an accumulator battery having special arrangements for correction of voltage variation or by a stabilized source, the limits of supply voltage variation shall be decided by agreement between user and manufacturer.

24.6 In special cases involving large voltage drops, e.g. where the vehicle comprises equipment or devices taking high current, such as electromagnetic brakes, the lower limits given above may be reduced to a value fixed by agreement between user and manufacturer.

25. Electrical connections

Table II shows the most commonly used connections for single-phase traction. For the sake of simplicity, this table shows only single circuits, but cascade connection of several identical circuits is often used.

The calculation factors for voltages and currents are discussed in Clause 26.

26. Calculation factors

The design of the convertor transformers and the voltage values applied to the convertor circuit elements depend on the electrical connection of the convertor. The information needed for calculation is given in Table II for basic single circuits.

26.1 Voltage ratios

Table II gives the ratios:

$$\frac{U_{d10}}{U_{v0}}, \frac{U_{i0m}}{U_{d10}} \text{ and } \frac{U_{im}}{U_{d10}}$$

where:

- U_{d10} = ideal no-load direct voltage (Sub-clause 8.1)
- U_{v0} = rated voltage on cell side (Sub-clause 5.2.4)
- U_{i0m} = ideal crest no-load voltage (Sub-clause 4.5)
- U_{im} = ideal crest voltage (Sub-clause 4.6)

If several identical circuits are connected in cascade, the resulting U_{d10} is the sum of the U_{d10} for individual circuits.

26.2 Facteur de courant côté ligne

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

$$\frac{\text{tension côté ligne}}{\text{tension de commutation côté cellules}} = \frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

Pour un rapport de transformation différent de 1, le courant côté ligne est approximativement:

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

26.3 Facteur de courant côté cellules

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

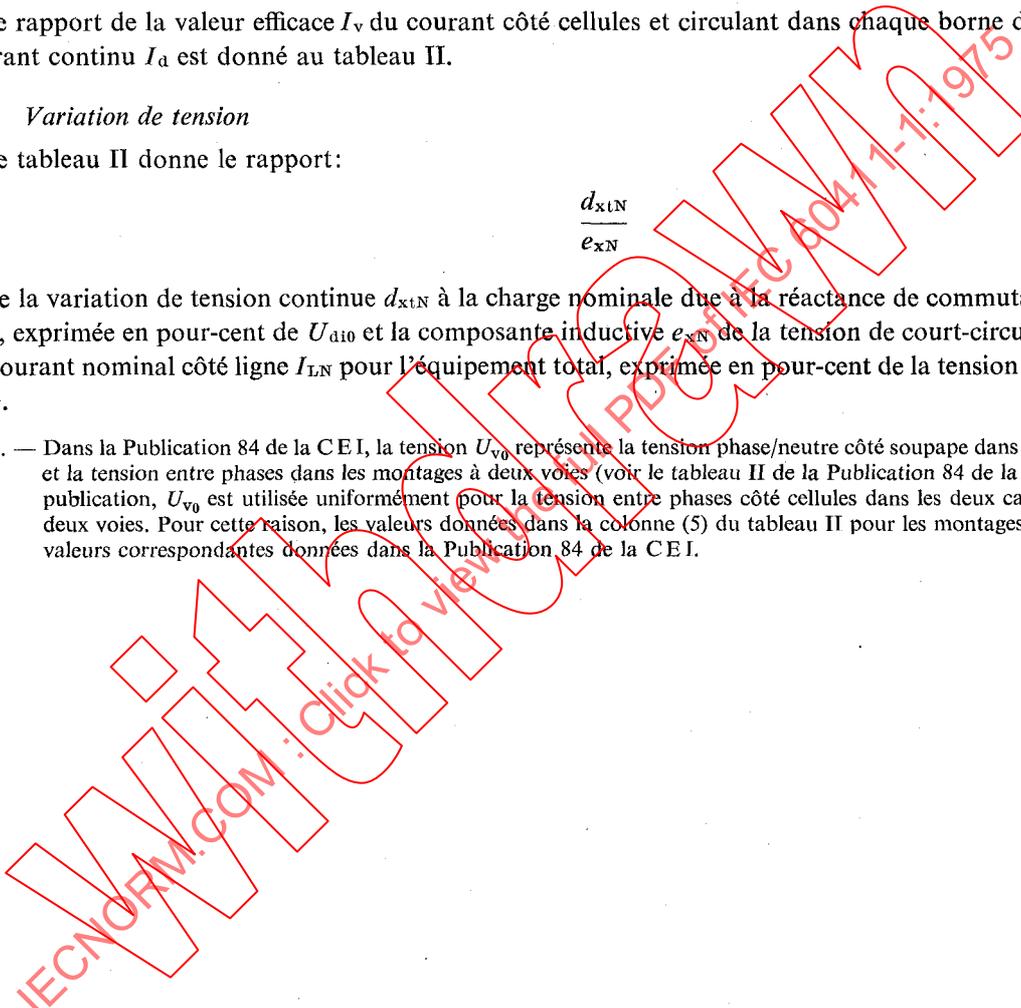
26.4 Variation de tension

Le tableau II donne le rapport:

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

entre la variation de tension continue d_{xLN} à la charge nominale due à la réactance de commutation du transformateur, exprimée en pour-cent de U_{d10} et la composante inductive e_{xN} de la tension de court-circuit du transformateur au courant nominal côté ligne I_{LN} pour l'équipement total, exprimée en pour-cent de la tension alternative nominale U_{LN} .

Note. — Dans la Publication 84 de la CEI, la tension U_{v0} représente la tension phase/neutre côté soupape dans les montages à une voie, et la tension entre phases dans les montages à deux voies (voir le tableau II de la Publication 84 de la CEI). Dans la présente publication, U_{v0} est utilisée uniformément pour la tension entre phases côté cellules dans les deux cas de montages à une ou deux voies. Pour cette raison, les valeurs données dans la colonne (5) du tableau II pour les montages à une voie diffèrent des valeurs correspondantes données dans la Publication 84 de la CEI.



26.2 Line-side current factor

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

$$\frac{\text{voltage on line side}}{\text{commutating voltage on cell side}} = \frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

For a transformer ratio other than 1, the line-side current is approximately:

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

26.3 Cell-side current factor

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

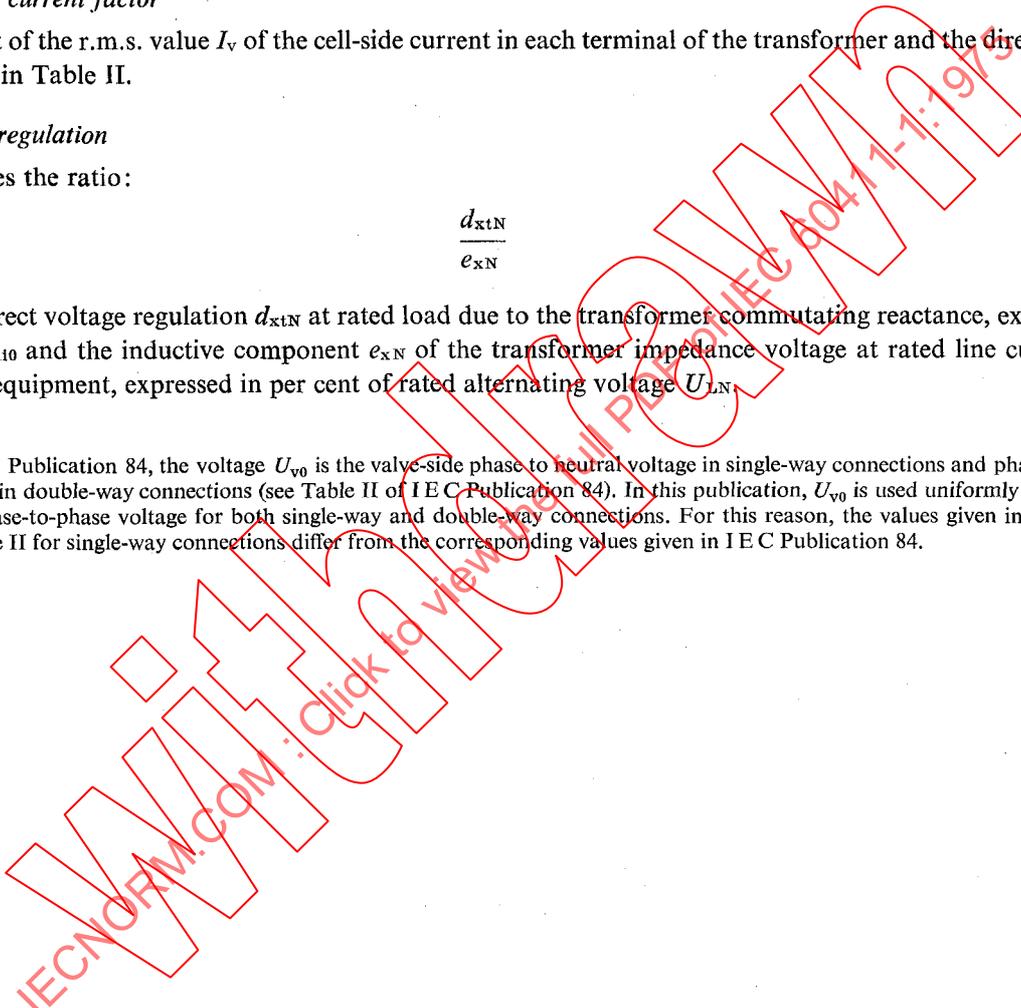
26.4 Voltage regulation

Table II gives the ratio:

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

between the direct voltage regulation d_{xtN} at rated load due to the transformer commutating reactance, expressed in per cent of U_{d10} and the inductive component e_{xN} of the transformer impedance voltage at rated line current I_{LN} for the whole equipment, expressed in per cent of rated alternating voltage U_{LN} .

Note. — In IEC Publication 84, the voltage U_{v0} is the valve-side phase to neutral voltage in single-way connections and phase-to-phase voltage in double-way connections (see Table II of IEC Publication 84). In this publication, U_{v0} is used uniformly for the cell-side phase-to-phase voltage for both single-way and double-way connections. For this reason, the values given in column (5) of Table II for single-way connections differ from the corresponding values given in IEC Publication 84.



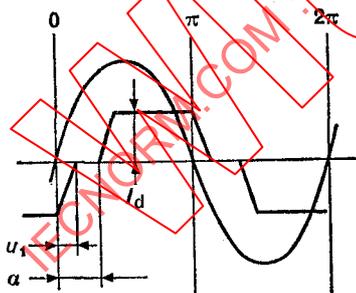
TABEAU II

Montage de base des convertisseurs à thyristors
A — Convertisseurs hétérogènes

TABLE II

Basic thyristor convertor connections
A — Non-uniform convertors

(1) N° No.	(2) Montages Connections	(3) Facteur de courant côté ligne Line-side current factor I_v/I_d	(4) Facteur de courant côté cellules Cell-side current factor I_v/I_d	(5) $\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$	(6) $\frac{U_{10m}}{U_{d10}}$	(7) $\frac{U_{1m}}{U_{d10}}$	(8) $\frac{d_{xtN}}{e_{xN}}$
1							Lorsque When $a \leq u_1^*$ 0,707
2				0,9	1,57	1,57	$\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$
3				$\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$\left(\frac{\pi}{2}\right)$	Lorsque When $a > u_1$ 0,354
4							$\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$



u_1 : empiètement défini par:
overlap defined by:

$$\cos u_1 = 1 - \frac{X_t I_d}{\sqrt{2} U_{v0}}$$

* Lorsque $a \leq u_1$, les caractéristiques sont les mêmes que pour un pont à diodes.
* When $a \leq u_1$, the characteristics are as for a diode bridge.

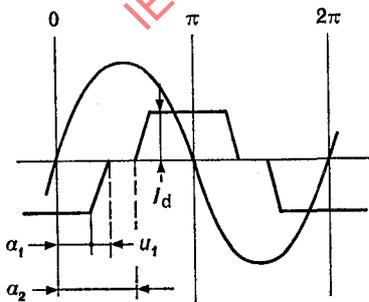
TABLEAU II (suite)

B — Convertisseurs homogènes

TABLE II (cont.)

B — Uniform convertors

N° No.	Montages Connections	$\frac{I'_L}{I_d}$	$\frac{I_v}{I_d}$	$\frac{U_{d10}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{i0m}}{U_{d10}}$	$\frac{U_{im}}{U_{d10}}$	$\frac{d_{xtN}}{e_{xN}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
5		0,5	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0,45 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	3,14 (π)	3,14 (π)	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$
6.1	 <i>Commande symétrique</i> <i>Symmetrical control</i> <i>a est le même pour tous les thyristors</i> <i>a is the same for all thyristors</i>	1	1	0,9 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$
6.2	 <i>Commande asymétrique</i> <i>Asymmetrical control</i> soit α_1 pour T_1, T_2 soit α_2 pour T_3, T_4 either α_1 for T_1, T_2 or α_2 for T_3, T_4	$\sqrt{\frac{\pi + \alpha_1 - \alpha_2}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{\pi + \alpha_1 - \alpha_2}{\pi}}$	0,9 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	Lorsque $\alpha_1 < \alpha_2 \leq \alpha_1 + u_1$ When $\alpha_1 < \alpha_2 \leq \alpha_1 + u_1$ 0,707 Lorsque $\alpha_2 > \alpha_1 + u_1$ When $\alpha_2 > \alpha_1 + u_1$ 0,354



u_1 : empiètement défini par:
overlap defined by:

$$\cos(\alpha_1 + u_1) = \cos \alpha_1 - \frac{X_t I_d}{\sqrt{2} U_{v0}}$$

* Lorsque $\alpha_2 \leq \alpha_1 + u_1$, les caractéristiques sont les mêmes que dans la commande symétrique avec un angle de retard α_1 .

* When $\alpha_2 \leq \alpha_1 + u_1$, the characteristics are as in symmetrical control with delay angle α_1 .

27. Pertes et rendement

27.1 Généralités

Le rendement à considérer pour un convertisseur est le facteur de conversion (paragraphe 6.2). Dans les applications à la traction, on peut en effet considérer que la puissance des composantes alternatives des courants et tensions dans les circuits côté continu ne contribue pas à la puissance utile.

Le facteur de conversion est déterminé par la méthode de mesure directe pour des conditions de charge spécifiées.

Dans certains cas (voir les notes 1 et 2), le rendement en puissance (paragraphe 6.1) doit être donné en plus du facteur de conversion. La méthode prescrite pour la détermination du rendement est celle de la sommation des pertes et de la puissance active des composantes alternatives de la tension et du courant côté continu qu'on appliquera comme suit:

Les pertes totales à considérer comprennent les pertes dans tous les organes du convertisseur qui sont en service en permanence (transformateur, inductances, thyristors, diodes) ainsi que la puissance consommée par les appareils supplémentaires en faisant partie. Si certains de ces appareils incorporés au convertisseur n'entrent pas en ligne de compte dans le calcul, les puissances qu'ils absorbent doivent être indiquées séparément.

Notes 1. — Pour les circuits côté continu munis d'inductances pour le lissage du courant, la puissance des composantes alternatives peut être négligée et la méthode des pertes séparées peut être appliquée directement.

2. — Pour les circuits à courant continu sans inductance de lissage, le rendement en puissance doit aussi être donné.

27.2 Pertes à inclure

27.2.1 Pertes internes dans le bloc telles que pertes dans les thyristors et leurs connexions, dans les diodes redresseuses et leurs connexions, pertes dans les coupe-circuit, les diviseurs de tension, les dispositifs d'équilibrage des courants, les circuits amortisseurs résistance-condensateur et les dispositifs limiteurs de tension.

27.2.2 Pertes dans les organes du convertisseur côté alternatif, c'est-à-dire transformateur, inductances diverses, transducteurs, etc.

27.2.3 Puissance absorbée par les auxiliaires nécessaires au fonctionnement du convertisseur (pompes, ventilateur, relais, etc.).

27.2.4 Pertes dans les filtres d'onde éventuels et dans les inductances de lissage côté continu s'ils sont incorporés dans le convertisseur.

27.2.5 Puissance absorbée par les appareils de réduction de la remontée de tension à vide lorsqu'ils sont continuellement en circuit.

27.2.6 Puissance consommée par le générateur d'impulsions (paragraphe 4.3).

27.3 Pertes à exclure

27.3.1 Pertes dans les connexions principales entre le transformateur et le bloc, si le transformateur et le bloc sont fournis séparément.

27.3.2 Pertes dans les connexions principales avec les disjoncteurs, contacteurs, etc., côté ligne et côté utilisation.

27.3.3 Pertes dans les disjoncteurs, contacteurs, etc., mentionnés au paragraphe 27.3.2.

27.3.4 Pertes dans les résistances tampons insérées dans le circuit des moteurs fonctionnant en récupération.

27.3.5 Pertes dans les auxiliaires ne fonctionnant que par intermittence.

27.3.6 Pertes dans le dispositif de réglage (paragraphe 4.4).

28. Facteur de puissance et facteur de déphasage

Le facteur de puissance λ et le facteur de déphasage $\cos \varphi$ doivent être déterminés par calcul. Selon accord entre utilisateur et constructeur, l'un ou l'autre de ces facteurs doit être vérifié par mesure directe sur le véhicule.

Normalement, ces facteurs ne feront pas l'objet d'une garantie.

27. Losses and efficiency

27.1 General

The efficiency of the convertor is to be declared as a conversion factor (Sub-clause 6.2). This is because in traction application the power of a.c. components of currents and voltages in the d.c. circuits is not normally considered to contribute to the useful power.

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

In some cases (see Notes 1 and 2), the power efficiency (Sub-clause 6.1) shall be given in addition to the conversion factor. The method specified for the determination of efficiency is to be that of summation of losses and active power of the a.c. components in d.c. voltage and current as follows:

The total losses to be considered include the losses in all parts of the convertor continuously in service (transformer, reactors, thyristors, diodes) and the power absorbed by any additional equipment which is included. If certain of the equipment incorporated with the convertor is not taken into account in the calculation, the power absorbed by this must be stated separately.

Notes 1. — For d.c. circuits with smoothing reactors giving smoothed direct current, the power of the a.c. components can be neglected and the summation of losses method can be applied directly.

2. — For d.c. circuits without smoothing reactors, the power efficiency shall also be given.

27.2 Losses to be included

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

27.2.2 Losses in convertor components on the a.c. side, i.e. transformer, various reactors, transducers, etc.

27.2.3 Power absorbed by the auxiliaries essential to the operation of the convertor (pumps, fan, relays, etc.).

27.2.4 Losses in any wave filters and in d.c. smoothing reactors if they are incorporated in the convertor.

27.2.5 Power absorbed by apparatus for reducing the no-load voltage rise, if permanently in circuit.

27.2.6 Power consumed by the trigger equipment (Sub-clause 4.3).

27.3 Losses to be excluded

27.3.1 Losses in the main connections between the transformer and the assembly if the transformer and the assembly are delivered as separate units.

27.3.2 Losses in the main connections to circuit-breakers, contactors, etc., both on the line and output sides.

27.3.3 Losses in the circuit-breakers, contactors, etc., mentioned in Sub-clause 27.3.2.

27.3.4 Losses in buffing resistors in motor circuits under regenerative working.

27.3.5 Losses in auxiliary equipment which operates only intermittently.

27.3.6 Losses in system control equipment (Sub-clause 4.4).

28. Power factor and displacement factor

The power factor λ and the displacement factor $\cos \varphi$ shall be determined by calculation. As agreed between user and manufacturer, one or the other of the said factors shall be checked by direct measurement on the vehicle.

Normally, these factors shall not be guaranteed.

29. Harmoniques

29.1 Taux d'ondulation du courant côté continu

Si la valeur du taux d'ondulation du courant a fait l'objet d'une garantie, elle pourra être vérifiée par mesure directe sur les moteurs de traction, le véhicule étant en service, à un régime aussi proche que possible du régime continu nominal (courant et tension).

29.2 Harmoniques côté alternatif

Normalement, les harmoniques ne feront pas l'objet d'une garantie. Toutefois:

- si une telle garantie a été prévue, les harmoniques du courant et de la tension, côté alternatif, devront être vérifiées par mesure directe sur le véhicule, selon accord entre utilisateur et constructeur;
- si l'équipement convertisseur comporte des circuits filtrants, côté alternatif, la méthode de vérification d'une garantie éventuelle relative aux harmoniques, côté alternatif, devra être fixée par accord entre utilisateur et constructeur. Cet accord devra spécifier la position du véhicule au moment des mesures.

30. Valeurs nominales des groupes et blocs convertisseurs

Les valeurs nominales communément utilisées pour les convertisseurs faisant l'objet de la présente norme sont:

- la tension nominale U_{dN} ;
- le courant continu nominal en régime continu I_{dN} ;
- la puissance nominale absorbée ou fournie.

Les définitions de ces termes sont données au paragraphe 5.3.

31. Classes de service

Il n'est pas prévu de classes de service types pour les convertisseurs de puissance des véhicules moteurs. Les surcharges requises pour ces convertisseurs sont fixées par accord entre utilisateur et constructeur (voir les paragraphes 5.2 et 5.3).

32. Plaque signalétique

Tous les constituants importants du convertisseur doivent, dans la mesure du possible, porter une plaque signalétique ou une marque d'identification.

SECTION SEPT — ESSAIS DES BLOCS THYRISTORS

33. Généralités

Les essais de type et de série des blocs thyristors doivent être effectués conformément aux articles énumérés dans le tableau III.

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

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

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

34. Essai de refroidissement (essai de type)

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

Si le ou les groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs sont incorporés au bloc convertisseur, l'essai doit être effectué en alimentant ce ou ces groupes,

29. Harmonics

29.1 Ripple factor on the d.c. side

If the value of current ripple factor has been made the subject of a guarantee, it should be checked by direct measurement on the traction motors, with the vehicle in service, under conditions as close as possible to those of the continuous rating (current and voltage).

29.2 Harmonics on the a.c. side

Normally, harmonics are not to be subject to guarantee. However:

- if such a guarantee exists, the current and voltage harmonics on the a.c. side shall be checked by direct measurement on the vehicle, as agreed between user and manufacturer;
- if the convertor equipment includes filter circuits on the a.c. side, the method of verifying any guarantee of the harmonics on the a.c. side should be agreed between the user and manufacturer; this agreement should specify the position of the vehicle at the time of measurement.

30. Rated values for assemblies and equipment

The ratings commonly used in connection with convertors of the types covered by this standard are:

- rated direct voltage U_{dN} ;
- rated continuous direct current I_{dN} ;
- rated d.c. input or output.

Definitions of these terms are given in Sub-clause 5.3.

31. Duty classes

No rating classes are specified for power convertors on electric rolling stock. The overloads are to be fixed by agreement between user and manufacturer (see Sub-clauses 5.2 et 5.3).

32. Rating plate

All the important components of the convertor shall, as far as possible, bear a rating plate or identification mark.

SECTION SEVEN — TESTS FOR THYRISTOR ASSEMBLIES

33. General

Type and routine tests on thyristor assemblies shall be carried out in accordance with the clauses given in Table III.

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

All semiconductor devices, 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 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.

34. Cooling test (type test)

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

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,

TABLEAU III

Essais des blocs thyristors

Nature de l'essai	Numéro de l'article	
	Essais de type	Essais de série
Essai de refroidissement	34	—
Essais de tenue aux vibrations et aux chocs	35	—
Essai à faible charge	—	36
Essai de courant à basse tension d'alimentation	37	37 *
Essai d'échauffement	38	—
Détermination des pertes	39	—
Vérification des propriétés du générateur d'impulsions	—	40
Vérification des propriétés du système de stabilisation incorporé	—	41
Vérification des caractéristiques des thyristors	42	—
Essai d'isolement	—	43

* Facultatif.

- a) sous la tension correspondant à la tension nominale U_{LN} ,
- b) sous la tension correspondant à la tension minimale indiquée, suivant le cas, aux paragraphes 24.2, 24.4, 24.5 ou 24.6.

Si, toutefois, ces groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs ne font pas partie intégrante du bloc, l'essai doit être exécuté 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 thyristor.

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

35. Essais de tenue aux vibrations et aux chocs (essais de type)

Le bloc entier — ou une partie de ce bloc — selon accord entre utilisateur et constructeur, 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 35.1 à 35.3 ci-après.

Pour les essais des paragraphes 35.1 et 35.2, le bloc doit être fixé dans la position convenable sur une machine provoquant des vibrations sinusoïdales d'amplitude et de fréquence réglables.

35.1 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 3.3, 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.

35.2 Essais de vibrations soutenues

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

- soit à la fréquence critique, si une telle fréquence bien caractérisée a été détectée au cours de l'essai du paragraphe 35.1,
- soit à la fréquence de 10 Hz, dans le cas contraire.

TABLE III

Tests for thyristor assemblies

Nature of test	Clause number	
	Type tests	Routine tests
Cooling test	34	—
Tests for withstanding vibrations and shocks	35	—
Light-load test	—	36
Current test at low-supply voltage	37	37 *
Temperature-rise test	38	—
Power loss determination	39	—
Checking the properties of the trigger equipment	—	40
Checking the properties of incorporated stabilization means	—	41
Check of thyristor characteristics	42	—
Insulation test	—	43

* Optional.

a) at the voltage corresponding to the rated voltage U_{LN} ,

b) at the voltage corresponding to the minimum voltage given, as may be necessary, in Sub-clauses 24.2, 24.4, 24.5 or 24.6.

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

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

35. Tests for withstanding vibrations and shocks (type tests)

The complete assembly—or one of its sub-assemblies—as agreed between user and manufacturer, 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 35.1 to 35.3 below.

For the tests in Sub-clauses 35.1 and 35.2, the assembly shall be secured in a suitable position to a machine producing vibrations of sinusoidal form with adjustable amplitude and frequency.

35.1 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 3.3 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.

35.2 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 between user and manufacturer:

- either at the critical frequency, if any such well-defined frequency has been detected in the course of test of Sub-clause 35.1,
- otherwise at a frequency of 10 Hz.

Dans les deux cas, l'amplitude de la table vibrante est réglée à la valeur correspondant à la fréquence considérée (voir le paragraphe 3.3).

Après accord entre utilisateur et constructeur, 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).

35.3 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 m/s^2 .

35.4 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, l'essai d'isolement.

36. Essai à faible charge (essai de série)

Cet essai a pour but de vérifier que les éléments du bloc sont correctement connectés, que celui-ci est capable de résister aux tensions qu'il est susceptible de supporter en service et que les caractéristiques de sa régulation statique répondent bien aux exigences. La tension alternative appliquée au bloc doit être égale à 110% de U_{v0} et doit être maintenue pendant au moins 5 min. L'essai doit être exécuté avec un courant de charge non inférieur à celui nécessaire pour éviter la remontée éventuelle de la tension redressée à faible charge.

Pendant l'essai, la tension alternative, la tension continue, le courant alternatif et le courant continu doivent être mesurés. En outre, les caractéristiques de l'impulsion de commande provoquant le réglage ou la stabilisation, s'il y a lieu, doivent être mesurées en faisant varier la tension continue dans toute la gamme pour laquelle le convertisseur est prévu.

Au cours de l'essai, on doit contrôler le fonctionnement du générateur d'impulsions, s'il en existe, ainsi que celui des auxiliaires. Si les bras du convertisseur comportent des dispositifs semi-conducteurs montés en série, on doit vérifier la bonne répartition des tensions.

Note. — Pour les convertisseurs immergés dans un liquide, la répartition des tensions peut être vérifiée dans l'air avant l'essai à faible charge. La tension alternative appliquée au bloc doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur, en tenant compte des possibilités d'isolement du bloc lorsque celui-ci est à l'air.

37. Essai de courant à basse tension d'alimentation (essai de type — essai de série facultatif)

Cet essai a pour but de vérifier que le bloc convertisseur fonctionne correctement à son courant continu nominal.

L'essai est effectué sur un bloc convertisseur complet, soit dans les ateliers du constructeur, soit après montage sur le véhicule suivant accord entre utilisateur et constructeur.

Les bornes côté continu sont court-circuitées à travers un shunt d'ampèremètre et on applique aux bornes côté alternatif une tension alternative suffisante pour provoquer le passage côté continu d'un courant au moins égal au courant nominal en régime continu (I_{AN}).

Selon que le ou les groupes ventilateurs sont ou non incorporés au bloc, la quantité d'air de refroidissement à utiliser pour cet essai doit être prise égale à celle définie au point b) du paragraphe 34.1 ou, au contraire, à celle spécifiée.

Par une coordination convenable du réglage de phase et de la valeur de la tension alternative d'alimentation, on amène le courant du convertisseur au courant nominal en régime continu et l'on vérifie que son fonctionnement est convenable. Si les bras du convertisseur comportent des dispositifs montés en parallèle, on doit vérifier la bonne répartition du courant. Cette vérification peut être faite, soit en mesurant les courants, soit en mesurant les chutes de tension, par exemple aux bornes des fusibles, soit en mesurant la température de certains thyristors à un point de référence.

Si le bloc convertisseur est muni d'un dispositif décelant une répartition non satisfaisante du courant, on vérifie également, au cours de l'essai, le fonctionnement de ce dispositif.

Note. — Cet article suppose que le refroidissement est assuré par ventilation forcée. Dans le cas d'un refroidissement par convection naturelle de l'air ou par circulation d'un fluide autre que l'air, les prescriptions pour les essais doivent être fixées par accord entre utilisateur et constructeur.

In both cases, the amplitude of the vibrating table is adjusted to the value corresponding to the frequency concerned (see Sub-clause 3.3).

Subject to agreement between user and manufacturer, as an investigation test, the assembly may be subjected to sustained vibrations for a longer period (25 h to 50 h).

35.3 Tests to simulate the effects 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 m/s^2 .

35.4 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.

36. Light-load test (routine test)

This test is carried out to check that the assembly is connected correctly and capable of withstanding the voltages likely to be encountered in service and that its static control properties fulfil the requirements. The a.c. voltage applied to the assembly shall be equal to 110% of U_{v0} ; this voltage shall be applied for at least 5 min. The test shall be carried out at a load current not lower than is necessary to avoid any light-load rise of the direct voltage.

During the test, the alternating voltage, the direct voltage, the alternating current and the direct current shall be measured. In addition, the characteristics of the control signal causing adjustment or stabilization, if any, shall be measured when varying the direct voltage over the entire range for which the convertor is designed.

The function of the trigger equipment, if any, and auxiliary devices shall be checked during the test. If series-connected semiconductor devices are used in the arms of the convertor, the voltage division shall be checked.

Note. — For the liquid-immersed type, the voltage division may be checked in air before the light-load test. The a.c. voltage applied to the assembly shall be decided by agreement between user and manufacturer, bearing in mind the insulation capability of the assembly when exposed in air.

37. Current test at low-supply voltage (type test—optional routine test)

This test is carried out to verify that the convertor equipment will operate satisfactorily at rated direct current.

The test is carried out on one complete convertor assembly, either in the manufacturer's works or on a complete vehicle as agreed between user and manufacturer.

The d.c. terminals are short-circuited through an ammeter shunt and an alternating voltage of sufficient value to cause at least rated continuous direct current (I_{dN}) to flow shall be connected to the a.c. terminals on the convertor.

The volume of cooling air to be used for this test shall be equal to that given in Item *b*) of Sub-clause 34.1 or, alternatively, to that specified, according to whether the fan set or sets form part of the assembly or not.

By suitable co-ordination of phase control and applied alternating voltage, rated continuous direct current shall be caused to flow through the convertor and a check made of its proper operation. If parallel connected devices are used in the arms of the convertor, the current sharing shall be checked. This may be done by current measurements, by voltage drop measurements, e.g. across the fuses, or by measurements of the temperature of certain thyristors at a reference point.

If the convertor assembly is provided with means for detecting unsatisfactory current sharing, the operation of this equipment shall also be checked during the test.

Note. — This clause assumes that cooling is provided by forced air circulation. In the case of cooling by natural air circulation, or by a medium other than air, the requirements for the tests shall be agreed between user and manufacturer.

38. Essai d'échauffement (essai de type)

Dans les conditions de l'essai de l'article 37, on fait varier la tension alternative d'alimentation de façon à soumettre le bloc convertisseur au cycle de service spécifié pour le courant (voir le paragraphe 5.3.5). Ce cycle doit être supporté, sans dommage, par l'appareil.

Un certain nombre de thermomètres électriques doivent être montés, au point de référence spécifié, sur les corps des thyristors et diodes considérés les plus exposés du point de vue de l'échauffement et on recherche, au début de l'essai, celui qui donne l'indication maximale. Par la suite et pendant toute la durée de l'essai, on relève les indications de ce thermomètre ainsi que les températures de l'air de refroidissement à l'entrée du bloc convertisseur.

Les valeurs mesurées sont majorées d'une quantité égale à la différence entre la température ambiante maximale spécifiée et la température ambiante réelle.

La température du thyristor ou de la diode la plus haute, corrigée s'il y a lieu comme indiqué ci-dessus, ne doit à aucun moment excéder la température limite spécifiée au point de référence considéré.

Notes 1. — Ce qui précède suppose que les pertes des dispositifs à semi-conducteurs dues aux courants de blocage direct et inverse sont négligeables.

2. — Pour les convertisseurs homogènes à commande asymétrique et pour les convertisseurs hétérogènes, la méthode d'essai doit être fixée par accord entre utilisateur et constructeur.

39. Détermination des pertes (essai de type)

Les pertes dans le bloc convertisseur peuvent être déterminées, soit par des calculs basés sur des caractéristiques vérifiables, soit par des mesures directes.

La mesure des pertes est, si cela est possible, faite lorsque le convertisseur fonctionne en redresseur.

Lors de cet essai, on peut employer, au choix du constructeur, soit le transformateur du groupe, soit un transformateur d'essai. Si l'on emploie le transformateur du groupe, on doit mesurer les pertes du groupe complet.

Si l'on n'emploie pas le transformateur du groupe, le transformateur utilisé doit avoir les mêmes indices de pulsation et de commutation que le transformateur du groupe. Dans ce cas, on ne mesure que les pertes du bloc thyristors ainsi que celles du générateur d'impulsions. Les pertes du transformateur sont déterminées à part, conformément à la section quatre de la présente publication.

Les pertes du convertisseur doivent être mesurées au cours de l'essai à faible charge et de l'essai en court-circuit. Les pertes totales du convertisseur sont la somme des pertes mesurées au cours de ces deux essais.

39.1 *Mesure des pertes à faible charge*

Dans la mesure du possible, l'essai est effectué lorsque le convertisseur fonctionne en redresseur. Le convertisseur est raccordé à un réseau à courant alternatif à la tension nominale et à une charge résistive côté courant continu.

L'essai doit être effectué à la tension continue (obtenue par réglage de phase) pour laquelle le rendement doit être mesuré et avec un courant non inférieur à celui qui est nécessaire pour éviter une brusque remontée de tension à faible charge du convertisseur.

On mesure la puissance d'entrée en courant alternatif, y compris celle consommée par le générateur d'impulsions et par les auxiliaires dont les pertes ne sont pas sensiblement influencées par la charge du convertisseur et doivent être comprises dans le calcul du rendement.

On mesure également la puissance de sortie au moyen d'un wattmètre.

Les pertes à faible charge sont égales à la puissance d'entrée en courant alternatif diminuée de la puissance de sortie ainsi mesurée.

Les pertes à vide sont égales aux pertes mesurées à faible charge diminuées des pertes du convertisseur provenant du courant de charge, calculées à partir du courant continu mesuré, de la tension de seuil et des résistances mesurées des circuits (les pertes supplémentaires additionnelles sont négligées).

39.2 *Mesure des pertes en court-circuit*

Dans la mesure du possible, l'essai doit être effectué lorsque le convertisseur fonctionne en redresseur en court-circuit. Le court-circuit est, si nécessaire, fermé sur une inductance telle que l'ondulation du courant superposé au courant continu soit sensiblement la même que celle prévue dans les conditions de charge pour lesquelles la valeur du rendement est demandée. L'adjonction d'une petite résistance peut être nécessaire afin d'obtenir une tension suffisante pour que les thyristors s'amorcent.

38. Temperature-rise test (type test)

Under the test conditions of Clause 37, the a.c. input voltage shall be varied so as to submit the convertor assembly to the duty cycle specified for the current (see Sub-clause 5.3.5). This cycle shall be withstood without damage.

Several electrical thermometers shall be mounted at the specified reference point on the bodies of those thyristors and diodes deemed to be liable to the maximum temperature rise and, at the start of the test, the one which gives the maximum reading shall be ascertained. Thereafter, and for the whole period of the test, readings shall be taken of this thermometer together with the temperatures of the cooling air at the convertor assembly intake.

The readings obtained shall be increased by a quantity equal to the difference between the specified maximum ambient temperature and the actual ambient temperature.

The temperature of the hottest thyristor or diode, corrected if necessary in accordance with the above, shall at no time exceed the specified limit of temperature at the selected reference point.

Notes 1. — This assumes that the losses in the semiconductor devices due to blocking and off-state currents are negligible.

2. — For uniform convertors with asymmetrical control and for non-uniform convertors, the method of test shall be agreed between user and manufacturer.

39. Power loss determination (type test)

Losses in the convertor assembly may be determined either by calculations based on characteristics that can be verified or by direct measurements.

If practicable, power loss measurements shall be made with the convertor operating as a rectifier.

The convertor transformer or a test transformer may be used for the test, at the choice of the manufacturer. If the convertor transformer is used, the power losses of the complete convertor shall be measured.

If the transformer designed for the convertor is not used, the transformer used shall have the pulse and commutation number for which the convertor is designed. In this case, only the losses in the thyristor assembly and in the trigger equipment will be measured during the power loss test. The transformer losses have to be measured separately according to Section Four of this publication.

The power losses of the convertor shall be measured during a light-load test and a short-circuit test. The total losses of the convertor are the sum of the no-load losses and short-circuit losses computed from these tests.

39.1 *Light-load power loss measurement*

If practicable, the test shall be carried out with the convertor operating as a rectifier. The convertor shall be connected to an a.c. supply with a voltage equal to the rated voltage and to a resistive load on the d.c. side.

The test shall be carried out at the direct voltage for which the efficiency is to be determined (adjusted by phase control) and with a current through the convertor not lower than is necessary to avoid the light-load voltage rise of the convertor.

The input a.c. power to the convertor shall be measured, including all trigger equipment and auxiliaries the losses of which are to be included when calculating the efficiency and whose losses are not significantly dependent upon the load of the convertor.

The output power is to be measured by a wattmeter.

The light-load power losses are equal to the input a.c. power minus the output power as so measured.

The no-load power losses are equal to the measured light-load power losses minus the power losses in the convertor circuit due to load current, calculated from the measured direct current, the threshold voltages and measured resistances of the circuit (eddy current losses neglected).

39.2 *Short-circuit power loss measurement*

If practicable, the test shall be carried out with the convertor operating as a rectifier in short-circuit. The short-circuit connection shall, if necessary, include an inductance chosen such that the ripple current superimposed on the direct current becomes about the same as is expected at those load conditions for which the efficiency is to be determined. Inclusion of a small resistance may also be necessary to ensure enough voltage for the thyristors to become conducting.

L'essai doit être fait avec l'intensité de courant continu pour laquelle la valeur du rendement est demandée et avec la combinaison de tension alternative d'alimentation et de réglage de phase qui assure, au cours de l'essai, le même angle d'empiètement que celui qui est prévu dans les conditions de charge pour lesquelles la valeur du rendement est demandée.

Au cours de l'essai, le générateur d'impulsions et les auxiliaires doivent être alimentés à part sous la tension nominale et leurs pertes ne sont pas comprises dans les pertes en court-circuit.

Les pertes produites au cours de l'essai en court-circuit sont égales à la puissance fournie par l'alimentation en courant alternatif, corrigées pour tenir compte des pertes fer du transformateur et de la puissance dépensée dans la liaison de court-circuit, déduite des valeurs moyennes du courant et de la tension côté continu.

S'il y a accord entre utilisateur et constructeur, ou si le convertisseur n'est pas prévu pour fonctionner dans les conditions décrites ci-dessus, la mesure des pertes en court-circuit doit être faite avec un angle de retard nul, conformément à la méthode donnée dans l'article 472 de la Publication 146 de la CEI.

40. Vérification des propriétés du générateur d'impulsions (essai de série)

Il n'est pas possible d'essayer de vérifier les propriétés du générateur d'impulsions dans toutes les conditions de charge qui peuvent se présenter dans la pratique. Il est cependant recommandé de vérifier ce générateur, autant que possible, dans les conditions de charge réelles. Quand cette vérification ne peut avoir lieu dans les locaux du constructeur, elle peut être faite après installation dans le véhicule, avec l'accord de l'utilisateur.

Quand elle est réalisable, la vérification du générateur d'impulsions peut être limitée aux conditions de charge spécifiées respectivement aux articles 36 et 37.

Dans les autres cas, les propriétés statiques et dynamiques du générateur d'impulsions doivent être contrôlées. On doit s'assurer que l'équipement fonctionne de façon satisfaisante pour toutes les valeurs de la tension alternative d'alimentation comprises dans la gamme des écarts de tension pour lesquels il est prévu. Etant donné les nombreuses variantes possibles de générateurs d'impulsions, on ne peut établir de procédures simples permettant de vérifier leurs propriétés.

Les propriétés dynamiques peuvent être vérifiées par un essai analogue.

41. Vérification des propriétés du système de stabilisation incorporé (essai de série)

Pour les groupes comprenant un système de stabilisation d'une grandeur de sortie (par exemple tension continue, courant continu) incorporé, on doit en vérifier les caractéristiques statiques et dynamiques. L'essai doit être réalisé pour vérifier si les conditions du cahier des charges sont remplies.

42. Vérification des caractéristiques des thyristors

Après réalisation des essais de type, on prélève environ 10% des thyristors du bloc, ce prélèvement étant effectué aux endroits considérés soumis aux conditions thermiques les plus sévères et on procède, sur ces thyristors, à des vérifications permettant de s'assurer que la tension et le courant inverses, la chute de tension directe à l'état passant ainsi que la tension et le courant directs à l'état bloqué se maintiennent dans les limites indiquées par le constructeur.

Note. — Pour les éléments du type « contact par pression », la méthode de vérification finale de ces éléments doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

43. Essais d'isolement (essais de série)

Les essais d'isolement ont pour but de vérifier l'état correct de l'isolation d'une unité complètement assemblée. En général, ils sont exécutés à la fin des essais.

Toutes les bornes côté continu et côté alternatif du bloc étant reliées électriquement et les diodes, thyristors et autres éléments liés électriquement étant mis en court-circuit, on applique entre bornes et masse la tension d'essai prévue pour le secondaire du transformateur alimentant ce bloc (voir l'article 19).

The test shall be carried out at the direct current for which the efficiency is to be determined and with such a combination of supply alternating voltage and phase control that the overlap during the test becomes about the same as the overlap anticipated at those load conditions for which the efficiency is to be determined.

During the test, the trigger equipment and auxiliaries have to be supplied separately with rated voltage and their losses are not included in the short-circuit losses.

The power losses of the convertor at short-circuit are equal to the power supplied from the a.c. supply at the short-circuit test, corrected for core losses in the convertor transformer, and the power losses in the short-circuit connections as determined from measurements of mean values of direct current and direct voltage.

If agreed between user and manufacturer or if the convertor is not designed to operate under the conditions given above, the short-circuit power loss measurement shall be made at short-circuit and delay angle zero, according to the methods given in Clause 472 of IEC Publication 146.

40. Checking the properties of the trigger equipment (routine test)

It is not feasible to try to verify the properties of the trigger equipment under all those load conditions which may prevail in real operation. However, it is recommended that the trigger equipment should be checked under real load conditions as far as possible. When this cannot be done at the manufacturer's premises, it can be performed after installation in the vehicle, by agreement with the user.

When practicable, the checking of trigger equipment may be restricted to the load conditions specified in Clauses 36 and 37 respectively.

In other cases, the static and dynamic properties of the trigger equipment shall be checked. This shall include checking that the equipment operates satisfactorily for all values of a.c. supply voltages within the range of variation for which it is designed. Due to the many possible variants of phase-shifting circuits, it is not possible to state simple procedures for checking the properties of the trigger equipment.

The dynamic properties may be checked by means of a similar test.

41. Checking the properties of incorporated stabilization means (routine test)

For those kinds of equipment in which means for stabilization of an output quantity (e.g. direct voltage, direct current) are included, the static and dynamic properties shall be checked. The test shall be performed to verify that the specifications are fulfilled.

42. Check of thyristor characteristics

After the completion of the type tests, about 10% of the thyristors taken from places which are considered to be under most severe thermal conditions in the assembly shall be selected in order to check that the reverse voltage and current, the forward voltage drop in the ON state, and the forward voltage and current in the OFF state still lie within the limits stated by the manufacturer.

Note. — For pressure contact type cells, the method of final cell checking shall be subject to agreement between user and manufacturer.

43. Insulation tests (routine tests)

Insulation tests are carried out to verify the correct state of insulation of a completely assembled unit. In general, they shall be carried out at the end of the tests.

All d.c. and a.c. terminals of the assembly shall be joined together electrically and the diodes, thyristors and other electrically-connected elements short-circuited; the test voltage specified for the secondary of the supply transformer shall then be applied between terminals and earth (see Clause 19).

44. Essais des accessoires des blocs thyristors

Tous les accessoires tels que résistances, condensateurs, limiteurs de tension et fusibles principaux (s'il en existe) doivent répondre aux publications appropriées de la CEI. Les essais de type des accessoires, s'ils sont reconnus nécessaires, doivent être faits suivant accord entre utilisateur et constructeur.

SECTION HUIT — ESSAIS DES CONVERTISSEURS

45. Généralités

En principe, les essais du convertisseur complet seront exécutés sur le véhicule entièrement monté.

Ils comportent des essais de type (voir l'article 46) et des essais de série (voir l'article 48).

De plus, les essais de type facultatifs faisant l'objet de l'article 47 ci-après peuvent être effectués après accord préalable entre utilisateur et constructeur.

46. Essais de type

46.1 Essai de refroidissement

Cet essai a pour objet de s'assurer que le flux de fluide de refroidissement traversant les éléments à refroidissement forcé n'est pas inférieur à la valeur spécifiée par le constructeur des thyristors et des diodes (s'il en existe), même lorsque la tension d'alimentation tombe au minimum spécifié à l'article 24.

46.2 Variation totale de tension

On mesure la tension de sortie à pleine charge pour la tension d'entrée spécifiée et pour l'angle d'amorçage spécifié des thyristors. Cette tension doit être comprise dans les limites fixées par accord entre utilisateur et constructeur.

46.3 Essais d'interférence

On doit faire fonctionner en séquence tous les contacteurs et relais des circuits de commande de traction et des auxiliaires du véhicule pour s'assurer qu'il n'y a aucune interférence électrique nuisible avec les circuits de commande du convertisseur. Cette interférence pourrait être due à un captage électromagnétique ou électrostatique. D'autre part, quand le véhicule circule, avec le convertisseur en service, on doit s'assurer que le fonctionnement du générateur d'impulsions est satisfaisant lorsque les contacteurs et relais fonctionnent en séquence normale et dans des conditions de défaut simulées.

46.4 Essai d'interruption de courte durée

Cet essai doit être effectué dans les deux modes de fonctionnement du convertisseur, c'est-à-dire en redresseur et en onduleur, le cas échéant. Pour chaque mode de fonctionnement, on procédera au moins à une interruption. La méthode d'essai doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

47. Essais de type facultatifs

47.1 Généralités

Le convertisseur, muni de tous ses dispositifs de protection et en fonctionnement sur la prise qui donne le courant de court-circuit maximal, doit, à la tension d'alimentation maximale, pouvoir résister sans dommage aux courants produits par un court-circuit ou une masse accidentelle survenant dans le circuit d'un moteur de traction, l'inductance de lissage (s'il en existe) restant, en général, insérée dans le circuit de défaut.

Toutefois, selon le schéma de connexion et notamment selon la position de la mise à la masse, les enroulements inducteurs des moteurs de traction et éventuellement l'inductance de lissage peuvent être ou non insérés dans le circuit.

Afin de s'assurer que cette exigence est satisfaite, on doit procéder, sur un véhicule complet du type intéressé, à l'essai visé au paragraphe 47.2.

44. Tests on accessories for thyristor assemblies

All accessories including resistors, capacitors, surge suppressors and main fuses (where provided) shall comply with the appropriate IEC publications. Type tests on accessories, if felt necessary, shall be agreed between user and manufacturer.

SECTION EIGHT — TESTS ON CONVERTORS

45. General

In principle, the tests on the complete convertor shall be performed on the completed vehicle.

They comprise type tests (see Clause 46) and routine tests (see Clause 48).

Furthermore, the optional type tests in Clause 47 below may be carried out by prior agreement between user and manufacturer.

46. Type tests

46.1 *Cooling test*

This test shall be made to ensure that the cooling medium flow through all forced-cooled components is not less than that specified by the manufacturer of the thyristors and diodes (if any) even when the supply voltage falls to the minimum value specified in Clause 24.

46.2 *Total voltage regulation*

The output voltage at full load with specified input voltage and specified thyristor firing angle shall be measured. The voltage so measured shall be within the tolerances agreed between user and manufacturer.

46.3 *Interference tests*

All contactors and relays in the traction and auxiliary control circuits of the vehicle shall be operated in sequence to ensure that there is no harmful electrical interference with the convertor control circuits due to electro-magnetic or electrostatic pick-up. Further, when the vehicle is running with the convertor operating, a check shall be made to ensure that operation of the triggering equipment is satisfactory when these contactors and relays are operated in their normal sequence and under simulated fault conditions.

46.4 *Short-time interruption test*

This test shall be made with the convertor operating both in the rectification and inversion modes when applicable. For each mode of operation, there should be at least one interruption. The test method shall be subject to agreement between user and manufacturer.

47. Optional type tests

47.1 *General*

The convertor, with its protective devices and when operating on the tapping which gives the maximum short-circuit current, shall be capable of withstanding without damage and at maximum supply voltage the currents produced by a short-circuit or accidental earth circuit in a traction-motor circuit, the smoothing reactor (if any) generally remaining inserted in the fault circuit.

However, according to the connection diagram and particularly the position of the earthing point, the field windings of the traction motors and possibly the smoothing reactor may or may not be inserted in the circuit.

In order to ensure that this requirement is complied with, the test called for in Sub-clause 47.2 shall be performed on one complete vehicle of the design concerned.

D'autre part, en vue de s'assurer que les surtensions causées par l'ouverture du disjoncteur à courant alternatif ne risquent pas de causer de dommages aux thyristors et aux diodes (s'il en existe), on doit procéder également à l'essai décrit au paragraphe 47.3.

Pour ces différents essais, le véhicule doit être placé aussi près que possible d'une sous-station d'alimentation afin d'obtenir une puissance de court-circuit égale à la valeur spécifiée ou proche de cette dernière. Le véhicule doit être alimenté par la ligne de contact à une tension égale à 110% de la tension nominale de la ligne, à moins qu'il en soit spécifié autrement par accord entre utilisateur et constructeur. Le graduateur du transformateur (s'il en existe) doit être placé dans la position qui donne la valeur maximale du courant de court-circuit.

47.2 Simulation d'un flash sur un moteur de traction

Tous les moteurs de traction et éventuellement l'inductance de lissage doivent être débranchés et une résistance de charge doit être montée à leur place, résistance d'une valeur telle que le courant qui la traverse soit égal à la valeur moyenne du courant maximal spécifié que le moteur de traction est capable de supporter pendant au moins 1 min.

Un contacteur de court-circuit doit être monté en parallèle avec la résistance de charge. Après que le courant aura traversé cette résistance pendant 1 min, on fermera le contacteur de court-circuit. Le courant de défaut résultant doit être détecté et éliminé par l'équipement de protection dans le temps total spécifié pour le fonctionnement de cet équipement. Si ce temps est dépassé, aucune responsabilité ne peut incomber au constructeur du convertisseur.

L'essai doit être effectué une fois et on procède à des enregistrements oscillographiques comme convenu entre utilisateur et constructeur.

Les thyristors et diodes (s'il en existe) doivent alors être vérifiés à la température ambiante pour s'assurer qu'aucun d'eux n'a été endommagé.

47.3 Essais de coupure du disjoncteur à courant alternatif

Les circuits de puissance à courant continu du véhicule étant ouverts et la charge auxiliaire égale à la valeur minimale pouvant se produire en service, le disjoncteur principal à courant alternatif doit être fermé et ouvert six fois. Cet essai a pour but de vérifier l'effet des surtensions sur les thyristors et, s'il y a lieu, sur les diodes (des circuits de puissance et d'auxiliaires) normalement connectés au transformateur.

47.4 Essai aux ondes de choc

Si, par suite de conditions d'exploitation particulières, un essai aux ondes de choc a été prévu au contrat pour le convertisseur, les modalités d'exécution de cet essai doivent faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

47.5 Défaillances de thyristors ou de diodes au cours des essais

Si des défaillances de thyristors ou de diodes se produisent au cours de l'un des essais des paragraphes 47.2 à 47.4, le constructeur de l'équipement doit remplacer à ses frais les thyristors et diodes défectueux et l'essai en question doit être recommencé deux fois. Si aucun incident ne survient au cours de ces nouveaux essais, l'essai de type doit être considéré comme satisfaisant. Si, par contre, une nouvelle défaillance se produit, le constructeur doit satisfaire aux desiderata raisonnables de l'utilisateur en vue de remédier à l'anomalie constatée.

47.6 Vérification finale des thyristors et diodes

Après réalisation des essais faisant l'objet des paragraphes 47.2 à 47.4, on prélève, au hasard, environ 10% des thyristors et des diodes (s'il en existe) afin de vérifier que les caractéristiques suivantes se maintiennent dans les limites indiquées par le constructeur:

- pour les thyristors: tension directe et inverse à l'état bloqué
courant direct et inverse à l'état bloqué
chute de tension directe;
- pour les diodes: tension inverse
courant inverse
chute de tension directe.

Note. — Pour les éléments du type « contact par pression », la méthode de vérification de ces éléments doit faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.