

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
411-5**

Première édition
First edition
1992-01

**Convertisseurs électroniques de puissance
à sortie polyphasée embarqués sur le matériel
roulant ferroviaire**

**Electronic power convertors
with multiphase output installed on board
railway rolling stock**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 411-5: 1992

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la C E I 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 C E I et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la C E I**
- **Annuaire de la C E I**
- **Catalogue des publications de la C E I**
Publié annuellement

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Publications de la C E I établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les publications de la C E I préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of I E C publications is kept under constant review by the I E C, 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 I E C National Committees and from the following I E C sources:

- **I E C Bulletin**
- **I E C Yearbook**
- **Catalogue of I E C Publications**
Published yearly

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

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

I E C publications prepared by the same Technical Committee

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
411-5**

Première édition
First edition
1992-01

**Convertisseurs électroniques de puissance
à sortie polyphasée embarqués sur le matériel
roulant ferroviaire**

**Electronic power convertors
with multiphase output installed on board
railway rolling stock**

© CEI 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
 SECTION 1: GÉNÉRALITÉS 	
Articles	
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Références normatives	10
1.3 Conditions de service	12
1.3.1 Conditions normales de service	12
1.3.2 Conditions spéciales de service	22
 SECTION 2: TERMINOLOGIE 	
2.1 Définitions relatives aux convertisseurs à sortie à courant alternatif	22
2.1.1 Convertisseur direct	22
2.1.2 Convertisseur indirect	24
2.1.3 Entrée et sortie	24
2.1.4 Groupes convertisseurs	26
2.2 Définitions relatives aux moteurs	30
2.2.1 Moteurs tournants	30
2.2.2 Moteurs linéaires	30
2.2.3 Alimentation des moteurs	32
2.3 Définitions relatives aux interfaces intermédiaires à courant continu	32
2.3.1 Interface intermédiaire source de tension	32
2.3.2 Interface intermédiaire source de courant	32
2.3.3 Filtres	32
2.4 Définitions relatives aux montages convertisseurs	32
2.4.1 Hacheur	34
2.4.2 Redresseur	34
2.4.3 Onduleurs	44
2.4.4 Convertisseur à courant alternatif (cycloconvertisseur)	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9

SECTION 1: GENERAL

Clause

1.1	Scope and object	11
1.2	Normative references	11
1.3	Service conditions	13
1.3.1	Usual service conditions	13
1.3.2	Special service conditions	23

SECTION 2: TERMINOLOGY

2.1	Definitions relating to a.c. output convertors	23
2.1.1	Direct convertor	23
2.1.2	Indirect convertor	25
2.1.3	Input and output	25
2.1.4	Convertor equipment	27
2.2	Definitions relating to motors	31
2.2.1	Rotating motors	31
2.2.2	Linear motors	31
2.2.3	Motor supply	33
2.3	Definitions relating to intermediate d.c. link	33
2.3.1	Voltage-source intermediate link	33
2.3.2	Current-source intermediate link	33
2.3.3	Filters	33
2.4	Definitions relating to convertor connections	33
2.4.1	Chopper	35
2.4.2	Rectifier	35
2.4.3	Inverters	45
2.4.4	A.C. convertor (cycloconvertor)	59

Articles	Pages
2.5 Définitions relatives aux valeurs assignées	60
2.5.1 Fréquence assignée	60
2.5.2 Tension assignée	60
2.5.3 Courant assigné	60
2.5.4 Puissance assignée	62
2.6 Autres définitions	64
2.6.1 Courbe de la charge en fonction du temps (profil de charge)	64
2.6.2 Rendement	64
2.6.3 Grandeurs du côté alternatif	64
2.6.4 Grandeurs du côté continu	66

SECTION 3: CARACTÉRISTIQUES

3.1 Caractéristiques	68
3.1.1 Grandeurs mécaniques et pertes électriques supplémentaires	68
3.1.2 Interférences	68
3.1.3 Caractéristiques de sortie des convertisseurs	70
3.1.4 Protection contre les courants de court-circuit	72
3.1.5 Protection contre les surtensions	72
3.1.6 Emission de bruit acoustique	72
3.1.7 Température des parois	72
3.1.8 Rendement	72

SECTION 4: ESSAIS

4.1 Généralités	72
4.1.1 Catégories d'essais	74
4.2 Essais sur les blocs convertisseurs	76
4.2.1 Essais de tenue aux vibrations et aux chocs (essais de type)	78
4.2.2 Essai du circuit de refroidissement (essai de type)	80
4.2.3 Essais des dispositifs de protection et de mesure (essai de type et essai de série)	80
4.2.4 Essai du dispositif d'allumage (essai de type et essai de série)	80
4.2.5 Essai d'isolement (essai de type et essai de série)	80
4.2.6 Essai à charge réduite (essai de type et essai de série)	82
4.2.7 Essai en charge au courant assigné (essai de type)	82
4.2.8 Essai d'échauffement (essai de type)	82
4.2.9 Détermination des pertes de puissance (essai de type)	86

Clause	Page
2.5 Definitions relating to rated values	61
2.5.1 Rated frequency	61
2.5.2 Rated voltage	61
2.5.3 Rated current	61
2.5.4 Rated power	63
2.6 Other definitions	65
2.6.1 Load-time diagram (load profile)	65
2.6.2 Power efficiency	65
2.6.3 Quantities on the a.c. side	65
2.6.4 Quantities on the d.c. side	67

SECTION 3: CHARACTERISTICS

3.1 Characteristics	69
3.1.1 Mechanical values and additional electric losses	69
3.1.2 Interference	69
3.1.3 Output characteristics of the converter	71
3.1.4 Short-circuit current protection	73
3.1.5 Overvoltage protection	73
3.1.6 Acoustic noise emission	73
3.1.7 Temperature of surfaces	73
3.1.8 Efficiency	73

SECTION 4: TESTS

4.1 General	73
4.1.1 Categories of tests	75
4.2 Tests on converter assemblies	77
4.2.1 Tests for withstanding vibrations and shocks (type tests)	79
4.2.2 Cooling system test (type test)	81
4.2.3 Tests on protection and measuring devices (type test and routine test)	81
4.2.4 Trigger equipment test (type test and routine test)	81
4.2.5 Insulation test (type test and routine test)	81
4.2.6 Light load test (type test and routine test)	83
4.2.7 Rated current load test (type test)	83
4.2.8 Temperature-rise test (type test)	83
4.2.9 Power loss determination (type test)	87

Articles	Pages
4.2.10 Mesure du bruit acoustique (essai de type)	86
4.2.11 Essai d'étanchéité (essai de type)	86
4.2.12 Masse (essai de type facultatif)	86
4.2.13 Examen visuel: aspect (essai de type et essai de série)	86
4.2.14 Vérification des dimensions et des tolérances (essai de type et essai de série)	86
4.3 Essais sur le groupe convertisseur complet	86
4.3.1 Essai de refroidissement (essai de type)	88
4.3.2 Equipement de commande (essai de type et de série)	88
4.3.3 Plages de tension et de fréquence (essai de type)	88
4.3.4 Essai d'interférence (essai de type)	90
4.3.5 Essais de variations brusques de charge (essais de type facultatifs)	90
4.3.6 Essai de commutation du disjoncteur principal (essai de type)	92
4.3.7 Essai de variation brusque de la tension du réseau (essai de type)	92
4.3.8 Essai d'interruption de courte durée de l'alimentation (essai de type facultatif)	92
4.3.9 Essai de surtension d'alimentation et d'énergie transitoire (essai de type)	94
4.3.10 Essai aux ondes de choc (essai de type facultatif)	94
4.3.11 Contrôle des exigences de sécurité (essai de type)	94
4.4 Défaillance de composants au cours des essais de type	94
4.5 Tolérances	94
4.5.1 Pertes dans le convertisseur équipé	96
4.5.2 Pertes éventuelles dans le transformateur et la réactance	96
4.5.3 Réactance éventuelle du transformateur	96
4.5.4 Inductance éventuelle de la réactance de lissage	96

Clause	Page
4.2.10 Acoustic noise measurement (type test)	87
4.2.11 Sealing test (type test)	87
4.2.12 Weight (optional type test)	87
4.2.13 Visual inspection: aspect (type test and routine test)	87
4.2.14 Verification of dimensions and tolerances (type test and routine test)	87
4.3 Tests on complete convertor equipment	87
4.3.1 Cooling test (type test)	89
4.3.2 Control equipment (type and routine test)	89
4.3.3 Voltage and frequency ranges (type test)	89
4.3.4 Interference test (type test)	91
4.3.5 Sudden variations of load tests (optional type tests)	91
4.3.6 Main circuit-breaker switching test (type test)	93
4.3.7 Step-change of line voltage test (type test)	93
4.3.8 Short-time supply interruption test (optional type test)	93
4.3.9 Supply overvoltage and transient energy test (type test)	95
4.3.10 Impulse test (optional type test)	95
4.3.11 Safety requirement inspection (type test)	95
4.4 Failure of components during type tests	95
4.5 Tolerances	95
4.5.1 Convertor assembly losses	97
4.5.2 Losses in transformer and reactor, if any	97
4.5.3 Transformer reactance, if any	97
4.5.4 Smoothing reactor inductance, if any	97

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE À SORTIE POLYPHASÉE EMBARQUÉS SUR LE MATÉRIEL ROULANT FERROVIAIRE

AVANT-PROPOS

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

La présente Norme internationale a été établie par le Sous-Comité 22D: Convertisseurs électroniques de puissance pour le matériel roulant, du Comité d'Etudes n° 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
22D(BC)24	22D(BC)25

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRONIC POWER CONVERTORS
WITH MULTIPHASE OUTPUT INSTALLED ON BOARD
RAILWAY ROLLING STOCK**

FOREWORD

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

This International Standard has been prepared by Sub-Committee 22D: Electronic power convertors for rolling stock, of IEC Technical Committee No. 22: Power electronics.

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

DIS	Report on Voting
22D(CO)24	22D(CO)25

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

CONVERTISSEURS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE À SORTIE POLYPHASÉE EMBARQUÉS SUR LE MATÉRIEL ROULANT FERROVIAIRE

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale est applicable aux convertisseurs électroniques de puissance à sortie polyphasée, embarqués sur le matériel roulant ferroviaire et destinés à alimenter:

- les circuits de traction;
- les circuits auxiliaires monophasés et polyphasés des matériels moteurs et des voitures et remorques.

Elle peut aussi être appliquée, autant que faire se peut, aux autres véhicules de traction tels que les trolleybus.

Les moteurs de traction polyphasés peuvent être tournants ou linéaires. Les convertisseurs pour les moteurs linéaires à stator fixe sont exclus.

Les types d'alimentation suivants sont envisagés:

- lignes de contact à courant alternatif;
- lignes de contact à courant continu;
- alimentation autonome (telle que les générateurs embarqués, les accumulateurs et les autres sources d'énergie électrique).

La présente norme définit la terminologie, les conditions de service, les caractéristiques et les méthodes d'essai des convertisseurs électroniques de puissance à sortie polyphasée.

NOTE - Dans la présente norme, les termes «constructeur» et «exploitant» désignent les deux parties prenantes à un contrat.

1.2 Références normatives

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

CEI 50 (551): 1982 et CEI 50 (811) (1988), *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) Chapitre 551: Electronique de puissance. Chapitre 811: Traction électrique.*

CEI 77: 1968, *Règles applicables à l'appareillage électrique de traction.*

CEI 146: 1973, *Convertisseurs à semiconducteurs.*

CEI 146 A: 1974, *Convertisseurs à semiconducteurs. Marques et indications sur les groupes convertisseurs et sur les blocs.*

ELECTRONIC POWER CONVERTORS WITH MULTIPHASE OUTPUT INSTALLED ON BOARD RAILWAY ROLLING STOCK

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope and object

This International Standard is applicable to electronic power convertors with multi-phase output installed on board railway rolling stock and intended for supplying:

- traction circuits;
- auxiliary circuits, both single phase and multi-phase of power vehicles, coaches and trailers.

This standard may also be applied, as far as it is possible, to other traction vehicles, such as trolleybuses.

Multi-phase traction motors can be either rotating or linear motors. Convertors for fixed-stator linear motors are excluded.

The following types of supply are taken into consideration:

- a.c. contact lines;
- d.c. contact lines;
- autonomous supply (such as onboard generators, accumulators and other electric energy sources).

This standard defines the terminology, service conditions, characteristics and test methods of electronic power convertors with multi-phase output.

NOTE - In this standard the terms "manufacturer" and "user" designate the parties involved in a contract.

1.2 Normative references

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

IEC 50 (551): 1982 and 50 (811): 1988, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) Chapter 551: Power electronics. Chapter 811: Electric traction.*

IEC 77: 1968, *Rules for electric traction equipment.*

IEC 146: 1973, *Semiconductor convertors.*

IEC 146 A: 1974, *Semiconductor convertors – First supplement: Chapter VII - Markings on convertor equipment and assemblies. Amendment No. 1 (1975)*

CEI 146-2: 1974, *Convertisseurs à semiconducteurs. Deuxième partie: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs.*

CEI 146-3: 1977, *Convertisseurs à semiconducteurs. Troisième partie: Convertisseurs à courant continu directs à semi-conducteurs (hacheurs).*

CEI 165: 1973, *Règles pour les essais des véhicules moteurs de traction électrique après achèvement et avant mise en service.*

CEI 310: 1969, *Règles applicables aux transformateurs de traction et aux inductances de traction.*

CEI 349: 1971, *Règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers.*

CEI 411-1: 1975, *Convertisseurs de puissance pour la traction. Première partie: Convertisseurs monophasés de puissance à thyristors.*

CEI 411-3: 1982, *Convertisseurs de puissance pour la traction. Troisième partie: Convertisseurs autocommutés pour la traction monophasée.*

CEI 411-4: 1986, *Convertisseurs de puissance pour la traction. Quatrième partie: Convertisseurs directs de courant continu (hacheurs) pour le matériel roulant.*

CEI 490: 1974, *Règles pour les essais des véhicules ferroviaires équipés de moteurs thermiques et de transmissions électriques, après achèvement et avant mise en service.*

CEI 529: 1976, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP).*

CEI 571: 1977, *Règles pour les équipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires.*

CEI 631: 1978, *Caractéristiques et essais des systèmes de freinage électrodynamiques et électromagnétiques.*

CEI 651: 1979, *Sonomètres.*

CEI 747: Série, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets.*

CEI 748: Série, *Dispositifs à semiconducteurs – Circuits intégrés.*

CEI 850: 1988, *Tensions d'alimentation des réseaux de traction.*

1.3 Conditions de service

1.3.1 Conditions normales de service

1.3.1.1 Altitude

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

IEC 146-2: 1974, *Semiconductor convertors – Part 2: Semiconductor self-commutated convertors.*

IEC 146-3: 1977, *Semiconductor convertors – Part 3: Semiconductor direct d.c. convertors (d.c. chopper convertors).*

IEC 165: 1973, *Rules for the testing of electric rolling stock on completion of construction and before entry into service.*

IEC 310: 1969, *Rules for traction transformers and reactors.*

IEC 349: 1971, *Rules for rotating electrical machines for rail and road vehicles.*

IEC 411-1: 1975, *Power convertors for electric traction – Part 1: Single-phase power convertors using thyristors.*

IEC 411-3: 1982, *Power convertors for electric traction – Part 3: Self-commutated convertors for single-phase traction.*

IEC 411-4 (1986), *Power convertors for electric traction – Part 4: Direct d.c. convertors (d.c. chopper convertors) for rolling stock.*

IEC 490: 1974, *Rules for testing of rail vehicles equipped with thermal engines and electric transmissions, after completion of construction and before entry in service.*

IEC 529: 1976, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).*

IEC 571: 1977, *Rules for electronic equipment used on rail vehicles.*

IEC 631: 1978, *Characteristics and tests for electrodynamic and electromagnetic braking systems.*

IEC 651: 1979, *Sound level meters.*

IEC 747: Series, *Semiconductor devices – Discrete devices.*

IEC 748: Series, *Semiconductor devices – Integrated circuits.*

IEC 850: 1988, *Supply voltages of traction systems.*

1.3 Service conditions

1.3.1 Usual service conditions

1.3.1.1 Altitude

In the absence of information regarding the height above sea-level at which the equipment is normally expected to function, it is assumed that this height shall not exceed 1 200 m.

1.3.1.2 Température

En l'absence d'indication sur la température ambiante de l'air extérieur au véhicule à laquelle les appareils sont appelés à fonctionner normalement, il est admis que ladite température ambiante reste comprise entre -25 °C et +40 °C, la température moyenne annuelle n'excédant pas +25 °C.

1.3.1.3 Humidité relative

En l'absence d'information précise sur l'humidité relative de l'air ambiant extérieur, dont la température est inférieure à +40 °C, on considère que sa valeur supérieure est comprise entre 90 % et 95 %.

1.3.1.4 Chocs et vibrations

En l'absence d'indication sur les contraintes dues aux chocs et aux vibrations auxquelles 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 , est comprise entre 1 Hz et 100 Hz et que leur amplitude, a , exprimée en millimètres, est donnée en fonction de f par les relations:

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

$$a = \frac{250}{f^2} \text{ pour } 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}$$

- que les accélérations maximales des chocs sont:

horizontalement dans le sens de déplacement du véhicule	30 m/s ² ≈ 3 g
transversalement	20 m/s ² ≈ 2 g
verticalement	10 m/s ² ≈ 1 g

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

NOTE - Il pourra être nécessaire de modifier cet article selon les résultats des investigations actuellement effectuées par le GT 21 du CE 9.

1.3.1.5 Inclinaison et forces centrifuges

Si nécessaire, par exemple si un refroidissement par liquide est utilisé, il faut tenir compte de l'inclinaison du véhicule, de la force centrifuge et de la force due à l'accélération, comme spécifiées par l'exploitant.

1.3.1.6 Caractéristiques des sources d'alimentation

L'exploitant doit définir avec précision les conditions de travail de l'équipement, en traction et en freinage électrique pour les convertisseurs de traction, dont les limites peuvent être très importantes pour la définition de l'appareil.

1.3.1.6.1 Forme d'onde de la tension alternative du réseau

Sauf accord différent entre l'exploitant et le constructeur, la tension du réseau doit être sinusoïdale. Par exemple son taux d'harmoniques ne doit pas excéder 0,1 (lorsque le convertisseur est déconnecté).

1.3.1.2 Temperature

In the absence of information on the ambient temperature of the air outside the vehicle at which the equipment is normally expected to function, it is assumed that the said ambient temperature lies between $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, with an annual average temperature not exceeding $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.3.1.3 Relative humidity

In the absence of precise information concerning the relative humidity of outside ambient air, the temperature of which is less than $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, it is considered that its upper value is between 90 % and 95 %.

1.3.1.4 Shocks and vibrations

In the absence of information regarding stresses due to shock, and vibration, 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 lies between 1 Hz and 100 Hz and that the amplitude, a , expressed in millimetres, is given as a function of f , by the equations:

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

$$a = \frac{250}{f^2} \text{ for } 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}$$

- that the maximum shock accelerations are:

horizontally in the direction of motion of the vehicle $30 \text{ m/s}^2 \approx 3 g$

transversally $20 \text{ m/s}^2 \approx 2 g$

vertically $10 \text{ m/s}^2 \approx 1 g$

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

NOTE - This clause may have to be changed according to the results of the investigations currently made by WG 21 of TC 9.

1.3.1.5 Tilting and centrifugal forces

If necessary, for example if liquid cooling is used, tilting of the vehicle and centrifugal and acceleration forces as specified by the user have to be considered.

1.3.1.6 Supply system characteristics

The user shall define exactly the operative conditions of the equipment, in motoring and braking operation for traction convertors, the limits of which may be very important for the design of the equipment.

1.3.1.6.1 Waveform of the a.c. line voltage

Unless otherwise agreed between user and manufacturer, the line voltage of the traction system shall be sinusoidal, i.e. the relative harmonic content of its waveform shall not exceed 0,1 (the convertor being switched off).

1.3.1.6.2 Variations de la tension alternative en ligne

Il est admis que la tension de la ligne se maintient dans les limites données par la CEI 850.

1.3.1.6.3 Surtensions dans les réseaux à courant alternatif

L'équipement convertisseur, y compris ses dispositifs de protection, s'il en existe, doit pouvoir supporter sans dommage les surtensions d'entrée spécifiées par l'exploitant. En cas d'absence de spécification, les valeurs de surtension données, à titre indicatif, par la courbe ② de la figure 1 sont utilisées.

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

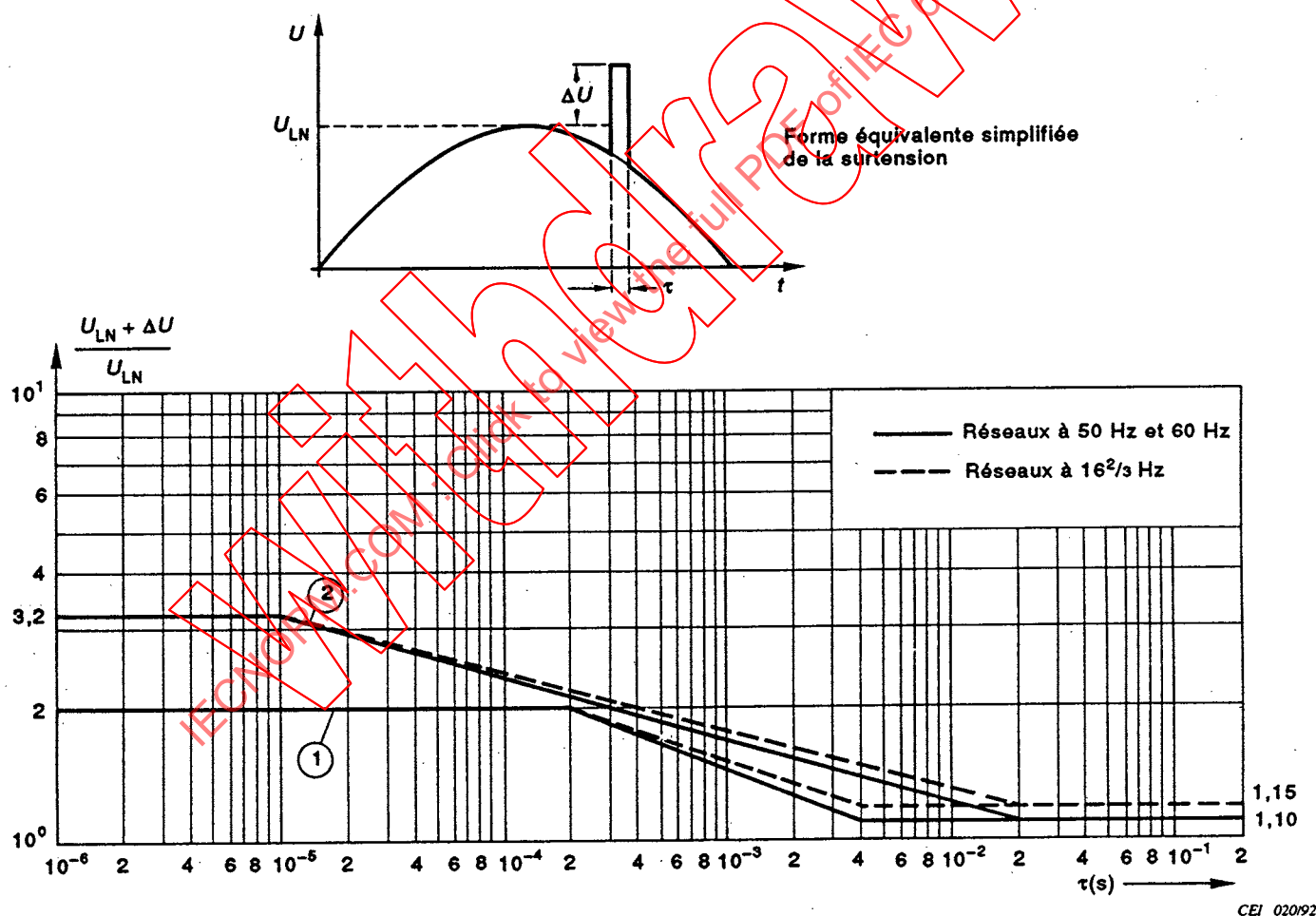


Figure 1 – Niveaux des surtensions dans les réseaux d'alimentation à courant alternatif

1.3.1.6.2 A.C. line voltage variations

The line voltage is assumed to be maintained within the limits given by IEC 850.

1.3.1.6.3 Overvoltages in a.c. systems

The converter equipment, including its protective devices, if any, shall be able to withstand input overvoltages as specified by the user without damage. In the event of no specifications being issued the overvoltages as specified in curve ② of figure 1 shall be used for guidance.

The converter equipment shall operate normally when subjected to overvoltages as given in curve ① of figure 1.

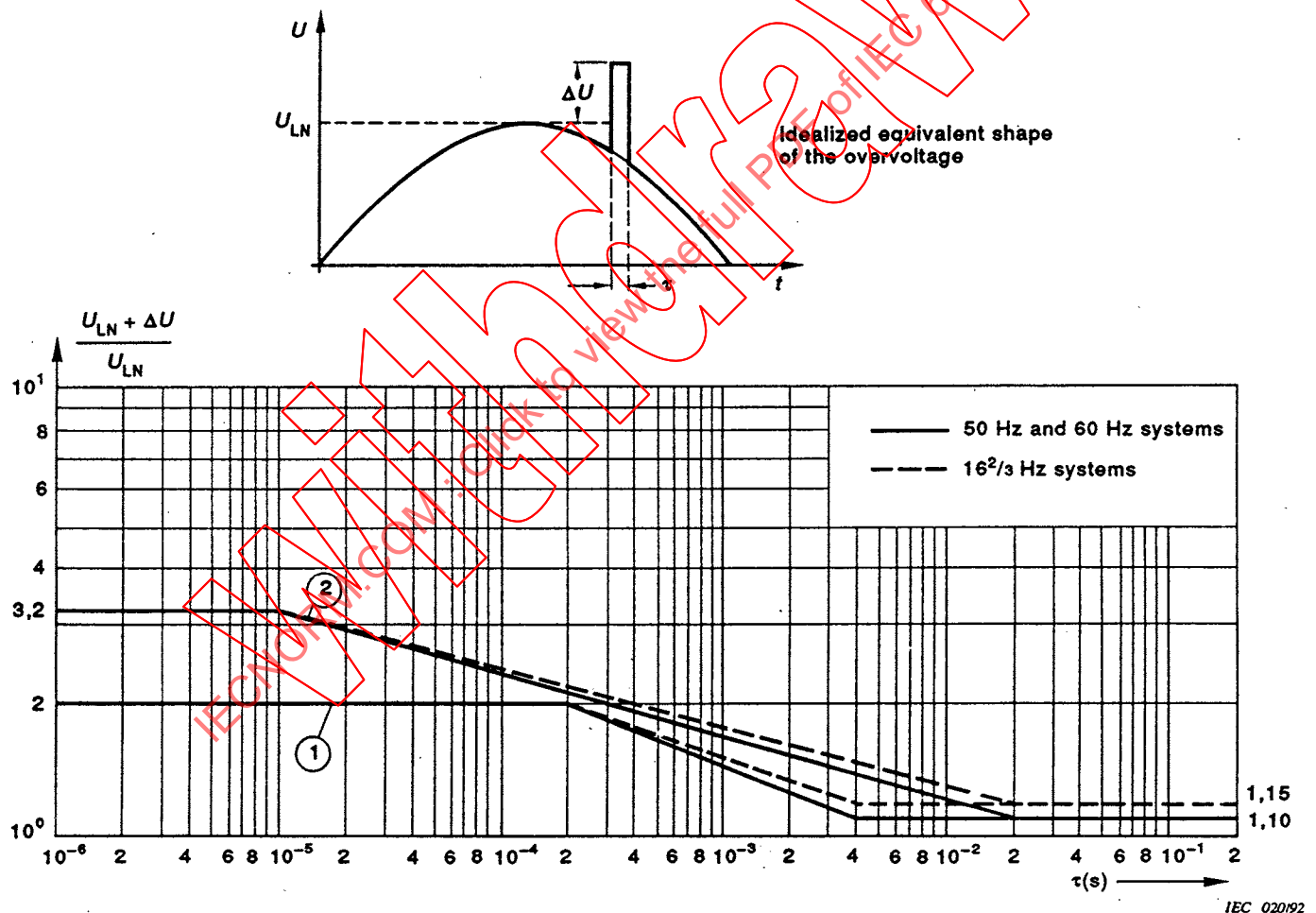


Figure 1 – Levels of overvoltages in a.c. supply systems

1.3.1.6.4 *Impédance du réseau à courant alternatif*

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

NOTE - Il faut faire attention si ces valeurs sont utilisées pour des études d'interférence (voir 3.1.1), car il peut exister des fréquences de résonance.

Si possible et si nécessaire, les fréquences de résonance du réseau à courant alternatif doivent être spécifiées par l'exploitant, soit directement, soit au moyen d'un modèle du réseau.

1.3.1.6.5 *Variation de la fréquence du réseau à courant alternatif*

La fréquence du réseau peut varier:

- de 16 1/6 Hz à 17 Hz pour les réseaux à 16 2/3 Hz;
- de 49 Hz à 51 Hz pour les réseaux à 50 Hz;
- de 59 Hz à 61 Hz pour les réseaux à 60 Hz.

pour autant qu'aucune autre valeur n'ait été convenue entre l'exploitant et le constructeur.

Pour les autres fréquences, les variations admissibles doivent être fixées par accord entre l'exploitant et le constructeur.

1.3.1.6.6 *Forme d'onde de la tension de la ligne à courant continu*

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

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

1.3.1.6.7 *Variations de la tension continue*

Il est admis que la tension de la ligne se maintient dans les limites données par la CEI 850.

1.3.1.6.8 *Surtensions dans les réseaux à courant continu*

L'équipement convertisseur, y compris ses dispositifs de protection s'il en existe, doit pouvoir supporter sans dommage les surtensions d'entrée spécifiées par l'exploitant. En cas d'absence de spécification, les valeurs de surtension données, à titre indicatif, par la courbe ② de la figure 2 sont utilisées.

Le convertisseur doit fonctionner normalement lorsqu'il est soumis aux surtensions données par la courbe ① de la figure 2.

1.3.1.6.4 *A.C. system impedance*

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

NOTE - Care should be taken if these values are used for interference studies (see 3.1.1) because there might be resonant frequencies.

If possible and necessary, resonant frequencies of the a.c. system shall be specified by the user, either directly or by means of a model of the system.

1.3.1.6.5 *A.C. line frequency variation*

A.C. line frequency may vary:

- from 16 1/6 Hz to 17 Hz for 16 2/3 Hz systems;
- from 49 Hz to 51 Hz for 50 Hz systems;
- from 59 Hz to 61 Hz for 60 Hz systems.

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

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

1.3.1.6.6 *Waveform of the d.c. line voltage*

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

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

1.3.1.6.7 *D.C. voltage variations*

The d.c. line voltage is assumed to be maintained between the limits given by IEC 850.

1.3.1.6.8 *Overvoltages in d.c. systems*

The convertor equipment including its protective devices, if any, must be able to withstand input overvoltages as specified by the user without damage. In the event of no specification being issued, the overvoltages as specified in curve ② of figure 2, shall be used for guidance.

The convertor shall operate normally when subjected to overvoltages given in curve ① of figure 2.

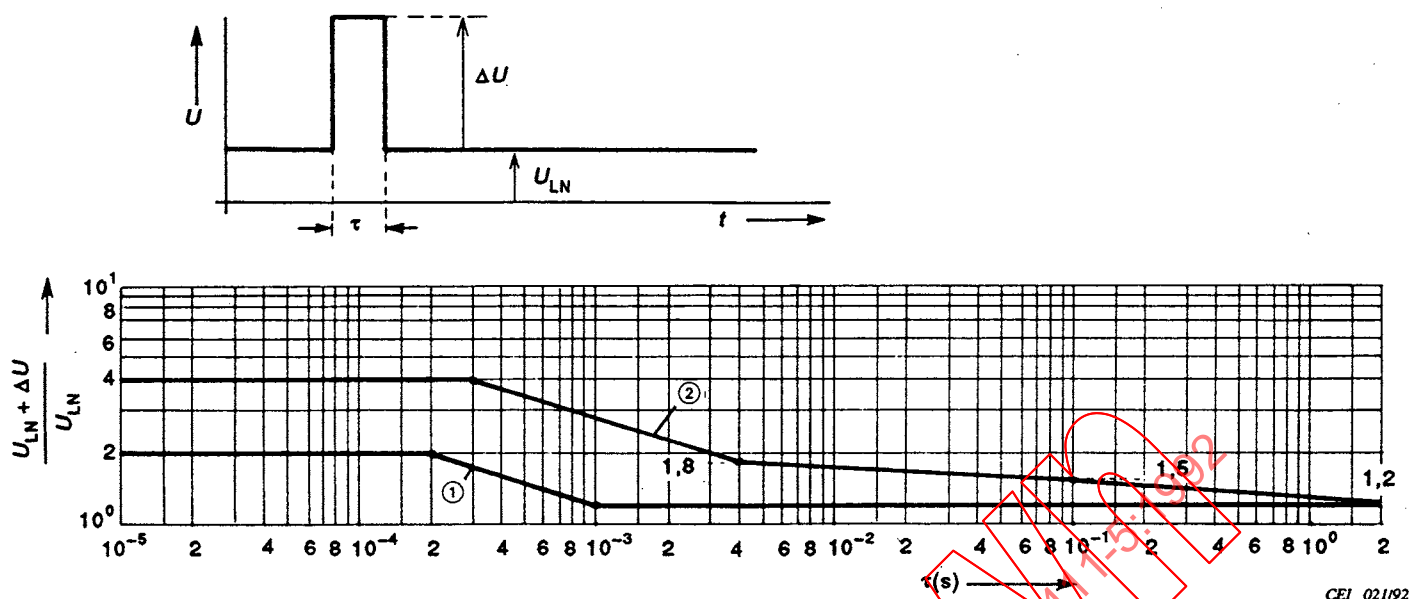


Figure 2 – Niveaux des surtensions dans les réseaux d'alimentation à courant continu

1.3.1.6.9 Inductance et résistance du réseau à courant continu

Puisque l'inductance et la résistance du réseau influent sur les caractéristiques de fonctionnement d'un convertisseur et varient avec la position du véhicule, les valeurs maximales et minimales de l'inductance et de la résistance, y compris l'impédance interne de la source, doivent être spécifiées par l'exploitant. Il y a lieu de tenir compte également de la présence d'autres véhicules équipés de convertisseurs.

NOTE - Il faut faire attention si ces valeurs sont utilisées pour des études d'interférence (voir 3.1), car il peut exister des fréquences de résonance.

Si possible et si nécessaire, les fréquences de résonance du réseau à courant continu doivent être spécifiées par l'exploitant, soit directement, soit au moyen d'un modèle du réseau.

1.3.1.6.10 Sources autonomes

Dans le cas où le convertisseur est alimenté par une source autonome à bord du véhicule telle que batterie, groupe tournant, etc., l'exploitant ou le constructeur doit indiquer les valeurs nominales et les valeurs limites de la tension et de l'impédance de la source et, dans le cas de source alternative, la fréquence et la forme d'onde; si le redresseur est inclus dans l'alimentation autonome, la tension d'ondulation et la plage de fréquences doivent être indiquées.

1.3.1.6.11 Limitations du courant d'entrée

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

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

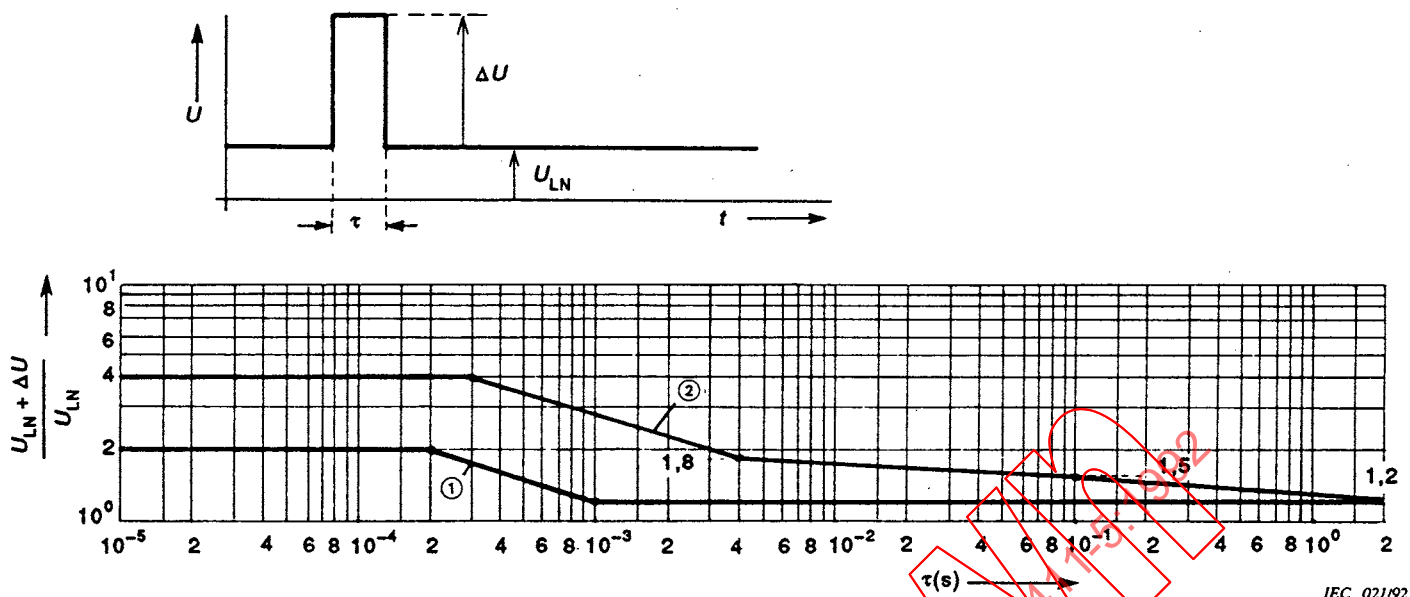


Figure 2 – Levels of overvoltages in d.c. supply systems

1.3.1.6.9 D.C system inductance and resistance

Since the inductance and resistance of the system affect the performance characteristics of a converter and vary with the position of the vehicle, the maximum and minimum values of inductance and resistance, including internal impedance of the source, shall be specified by the user. The presence of other vehicles equipped with converters should also be taken into account.

NOTE - Care should be taken if these values are used for interference studies (see 3.1) because there might be resonant frequencies.

If possible and necessary, resonant frequencies of the d.c. system shall be specified by the user, either directly or by means of a model of the system.

1.3.1.6.10 Autonomous supply

Where the converter is supplied by an autonomous supply on board the vehicle such as battery, rotating set, etc., the user or the manufacturer of the autonomous supply has to state rated values and limit values for the voltage and impedance of the supply, and, in the case of an a.c. supply: the frequency and waveform; if the rectifier is included in the autonomous supply, the ripple voltage and frequency range shall be stated.

1.3.1.6.11 Input current limitations

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

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

1.3.1.7 *Nature de la charge*

Etant donné que la nature de la charge peut affecter les caractéristiques de fonctionnement du convertisseur, on doit toujours spécifier la nature de la charge (circuit équivalent de la charge donnant tous les paramètres importants tels que l'inductance de fuite, le déphasage, la f.é.m. du moteur, la non-linéarité, etc., si nécessaire en fonction de la fréquence).

1.3.1.8 *Conditions additionnelles d'environnement*

En tenant compte de sa position et de son installation dans le véhicule, le convertisseur doit être capable de fonctionner correctement malgré les poussières, le brouillard, la pluie et la neige auxquels le véhicule est exposé de façon normale en service.

1.3.2 *Conditions spéciales de service*

Des dispositions particulières, fixées par accord entre l'exploitant et le constructeur, doivent être prises lorsque les conditions diffèrent de celles mentionnées dans les paragraphes précédents, par exemple:

- altitude supérieure à 1 200 m;
- température ambiante de l'air extérieur au véhicule supérieure à +40 °C;
- température minimale de l'air extérieur au véhicule inférieure à –25 °C;
- température moyenne annuelle supérieure à +25 °C;
- température moyenne élevée conjuguée avec une humidité de l'air élevée;
- pluies torrentielles, tempêtes de sable ou de neige, poussières anormalement conductrices, salinité anormale de l'air;
- variations de la tension délivrée par la ligne d'alimentation excédant les valeurs données précédemment, par exemple dans le cas de réseaux appliquant le freinage par récupération d'énergie;
- variations soudaines de la température ambiante de l'ordre de 15 K survenant sur des périodes d'une à quelques minutes, dues, par exemple, aux franchissements de tunnels;
- conditions causant de fréquentes interruptions entre la ligne de contact et le pantographe ou de fréquents courts-circuits sur la ligne (par exemple formation de glace sur la ligne de contact, parcours de dégivrage...).

SECTION 2: TERMINOLOGIE

Pour caractériser les composants aussi bien que le mode de fonctionnement des convertisseurs, les termes suivants sont de préférence employés. D'autres termes et d'autres définitions sont donnés dans les publications et les documents cités à l'article 1.2.

2.1 *Définitions relatives aux convertisseurs à sortie à courant alternatif*

2.1.1 *Convertisseur direct*

Convertisseur qui convertit l'énergie d'entrée en énergie de sortie alternative polyphasée sans interface intermédiaire.

1.3.1.7 *Nature of load*

In view of the fact that the nature of the load may affect the operating characteristics of the convertor equipment, the nature of the load shall always be specified (equivalent circuit of the load giving all important parameters as leakage inductance, phase displacement, e.m.f. of the motor, non-linearity etc., if necessary as a function of frequency).

1.3.1.8 *Additional environmental conditions*

With due regard to its location and method of installation on the vehicle, the convertor shall be capable of operating correctly in spite of dust, mist, rain and snow to which the vehicle is normally exposed in service.

1.3.2 *Special service conditions*

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

- altitude above 1 200 m;
- ambient temperature of the air outside of the vehicle above +40 °C;
- minimum temperature of the air outside of the vehicle below -25 °C;
- annual average temperature above +25 °C;
- high average temperature plus high air humidity;
- torrential rains, sand or snow storms, abnormal conducting dust, abnormal salinity of the air;
- variations of the supply line voltage exceeding the values given above, for example in the case of systems using regenerative braking;
- sudden ambient temperature variations of about 15 K occurring for periods of one up to a few minutes, for example due to railway tunnels;
- conditions bringing about frequent interruptions between contact line and pantograph or frequent short circuits on the contact line (e.g. formation of ice on the contact line, de-icing runs).

SECTION 2: TERMINOLOGY

In order to characterize the components as well as the mode of operation of convertors, the following terms are preferably used. Other terms and definitions are given in publications and documents mentioned in clause 1.2.

2.1 *Definitions relating to a.c. output convertors*

2.1.1 *Direct convertor*

A convertor which converts the input energy into the multi-phase a.c. output energy without an intermediate link.

2.1.2 Convertisseur indirect

Convertisseur qui convertit l'énergie d'entrée en énergie de sortie alternative polyphasée et qui comporte deux convertisseurs séparés, connectés en série au moyen d'une interface intermédiaire. Un convertisseur indirect peut comporter les parties suivantes:

2.1.2.1 Convertisseur côté ligne

Partie d'un convertisseur indirect, dont les circuits de puissance sont connectés d'un côté à la ligne et de l'autre côté à une interface intermédiaire. Selon sa fonction, il peut être appelé redresseur côté ligne, onduleur côté ligne, convertisseur direct de courant continu (hacheur) côté ligne ou convertisseur de courant alternatif côté ligne.

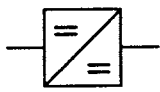
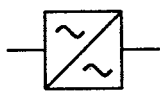
2.1.2.2 Convertisseur côté charge (côté moteur)

Partie d'un convertisseur indirect, dont les bornes sont connectées d'un côté à une interface intermédiaire et de l'autre côté à un ou plusieurs moteurs. Selon sa fonction, il peut être appelé inverseur côté moteur ou convertisseur côté moteur.

2.1.2.3 Convertisseur intermédiaire

Partie d'un convertisseur indirect, dont les circuits de puissance sont connectés à leur entrée et à leur sortie à des interfaces intermédiaires. Selon sa fonction, il peut être appelé redresseur intermédiaire, inverseur intermédiaire, convertisseur intermédiaire de courant continu (hacheur), régulateur intermédiaire électronique de puissance à courant alternatif ou convertisseur intermédiaire de courant alternatif.

Tableau 1 – Schéma fonctionnel des convertisseurs intermédiaires

Convertisseur intermédiaire	Schéma fonctionnel
Redresseur intermédiaire	
Onduleur intermédiaire	
Convertisseur intermédiaire de courant continu	
Convertisseur intermédiaire de courant alternatif	

2.1.3 Entrée et sortie

Le côté entrée d'un convertisseur ou d'un bloc convertisseur définit le côté qui absorbe de la puissance active dans le fonctionnement en traction. Le côté sortie est le côté qui fournit de la puissance active dans le fonctionnement en traction.

2.1.2 Indirect convertor

A convertor which converts the input energy into the multi-phase a.c. output energy and which consists of two separate convertors connected in series via a distinct intermediate link. An indirect convertor may consist of the following parts:

2.1.2.1 Line-side convertor

Part of an indirect convertor, the power circuits of which are connected on the one side to the line and on the other side to an intermediate link. Depending on its function, it may be referred to as a line-side direct d.c. convertor (chopper convertor) or a line-side a.c. convertor.

2.1.2.2 Load-side (motor-side) convertor

Part of an indirect convertor, the terminals of which are connected on the one hand to the intermediate link and on the other hand to one or more motors. Depending on its function, it may be referred to as a motor-side inverter or as a motor-side convertor.

2.1.2.3 Intermediate convertor

Part of an indirect convertor, the power circuits of which are connected on their input and output side to intermediate links. Depending on its function, it can be referred to as an intermediate rectifier, an intermediate inverter, an intermediate d.c. convertor (chopper convertor), an intermediate electronic a.c. power controller or an intermediate a.c. convertor.

Table 1 – Block diagram of intermediate convertor

Intermediate convertor	Block diagram
Intermediate rectifier	
Intermediate inverter	
Intermediate d.c. convertor	
Intermediate a.c. convertor	

2.1.3 Input and output

The input side of a convertor or a convertor equipment denotes that side which absorbs active power in motoring operation, the output side being that side which delivers active power in motoring operation.

2.1.4 Groupes convertisseurs

2.1.4.1 Alimentation à partir d'une ligne de contact à courant alternatif ou d'un générateur monophasé ou polyphasé embarqué

Tableau 2 – Schéma fonctionnel des groupes convertisseurs

Groupe convertisseur	Schéma fonctionnel
Convertisseur direct de courant alternatif (2.1.4.1.1)	
Convertisseur indirect de courant alternatif avec interface intermédiaire à courant continu (2.1.4.1.2)	
Convertisseur indirect de courant alternatif avec interface intermédiaire à courant alternatif (2.1.4.1.3)	
Convertisseur indirect de courant alternatif avec convertisseur intermédiaire à courant continu (2.1.4.1.4)	
Convertisseur indirect de courant alternatif avec redresseur intermédiaire (2.1.4.1.5)	
Convertisseur indirect de courant alternatif avec onduleur intermédiaire (2.1.4.1.6)	

2.1.4.1.1 Convertisseur direct de courant alternatif

Convertisseur direct de courant alternatif qui est alimenté par la ligne de contact ou par un générateur embarqué et qui normalement n'a pas de réservoirs d'énergie pour limiter les pulsations de puissance de la ligne et celles du moteur de traction.

2.1.4.1.2 Convertisseur indirect de courant alternatif avec interface intermédiaire à courant continu

Convertisseur comprenant un redresseur et un onduleur qui sont reliés à des réservoirs d'énergie au moyen d'une interface intermédiaire à courant continu. L'interface intermédiaire à courant continu peut être conçue comme une source de courant continu ou comme une source de tension continue. Dans le premier cas, le courant est appliqué au moyen d'une inductance en série; dans le second cas la tension est appliquée au moyen d'un condensateur en parallèle.

Les réservoirs d'énergie peuvent être des combinaisons d'inductances et de condensateurs (filtres LC, circuits résonnants parallèle et série).

NOTE - Dans le cas d'une interface intermédiaire source de courant, le courant doit varier en fonction de la charge de sortie; ceci peut être effectué par le redresseur côté ligne. Dans le cas d'une interface intermédiaire source de tension, la tension peut être soit constante, soit variable. Dans le cas d'une tension constante, l'adaptation à la charge est effectuée par l'onduleur côté moteur.

2.1.4 Converter equipment

2.1.4.1 Supply from an a.c. voltage contact line or onboard a.c. generator

Table 2 – Block diagram of converter equipment

Converter equipment	Block diagram
Direct a.c. converter (2.1.4.1.1)	
Indirect a.c. converter with intermediate d.c. link (2.1.4.1.2)	
Indirect a.c. converter with intermediate a.c. link (2.1.4.1.3)	
Indirect a.c. converter with intermediate d.c. converter (2.1.4.1.4)	
Indirect a.c. converter with intermediate rectifier (2.1.4.1.5)	
Indirect a.c. converter with intermediate inverter (2.1.4.1.6)	

2.1.4.1.1 Direct a.c. converter

A direct a.c. converter which is supplied from the contact line or an onboard generator and which normally has no energy stores to attenuate the power pulsations of the line and traction motor.

2.1.4.1.2 Indirect a.c. converter with intermediate d.c. link

A converter consisting of a rectifier and an inverter which are connected to energy stores via an intermediate d.c. link. The intermediate d.c. link may be designed as a d.c. current-source or voltage-source intermediate link. In the first case, the current is impressed by means of a series reactor, in the second case the voltage is impressed by means of a parallel capacitor.

The energy stores may consist of combinations of reactors and capacitors (LC filters, parallel and series resonance circuits).

NOTE - In the case of a current-source intermediate link the current has to vary as a function of the output load; this can be effected by the line-side rectifier. In the case of a voltage-source intermediate link the voltage can be either constant or variable. In the case of constant voltage the adaptation to the respective load is effected by the motor-side inverter.

2.1.4.1.3 *Convertisseur indirect de courant alternatif avec interface intermédiaire à courant alternatif*

Assemblage de deux convertisseurs qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant alternatif.

NOTE - La fréquence de l'interface intermédiaire à courant alternatif est normalement plus élevée que la fréquence d'entrée afin de réduire la taille du transformateur.

2.1.4.1.4 *Convertisseur indirect de courant alternatif avec convertisseur intermédiaire de courant continu*

Assemblage identique à celui défini en 2.1.4.1.2 mais avec l'addition d'un convertisseur de courant continu pour régler le courant intermédiaire ou la tension intermédiaire.

2.1.4.1.5 *Convertisseur indirect de courant alternatif avec redresseur intermédiaire*

Assemblage de trois convertisseurs qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant alternatif et par une interface intermédiaire à courant continu source de tension ou source de courant.

NOTE - La fréquence de la tension alternative intermédiaire est normalement plus élevée que la fréquence d'alimentation afin de réduire la taille du transformateur.

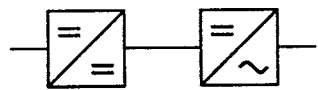
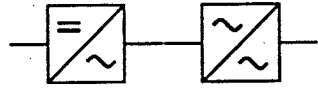
2.1.4.1.6 *Convertisseur indirect de courant alternatif avec onduleur intermédiaire*

Assemblage de trois convertisseurs qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant continu et une interface intermédiaire à courant alternatif.

NOTE - La fréquence de l'interface intermédiaire à courant alternatif est normalement plus élevée que la fréquence de sortie afin de réduire la taille du transformateur de sortie.

2.1.4.2 *Alimentation à partir d'une ligne de contact à courant continu ou d'une batterie embarquée*

Tableau 3 - Schéma fonctionnel des groupes convertisseurs

Groupe convertisseur	Schéma fonctionnel
Onduleur (2.1.4.2.1)	
Onduleur indirect avec interface intermédiaire à courant continu (2.1.4.2.2)	
Onduleur indirect avec interface intermédiaire à courant alternatif (2.1.4.2.3)	
Onduleur indirect avec une interface intermédiaire à courant alternatif et une interface intermédiaire à courant continu (2.1.4.2.4)	
Onduleur indirect avec une interface intermédiaire à courant continu et une interface intermédiaire à courant alternatif (2.1.4.2.5)	

2.1.4.1.3 Indirect a.c. convertor with intermediate a.c. link

A connection consisting of two convertors which are connected via an intermediate a.c. link.

NOTE - The frequency of the intermediate a.c. link is normally higher than the input frequency in order to reduce the transformer size.

2.1.4.1.4 Indirect a.c. convertor with intermediate d.c. convertor

A connection identical with that defined in 2.1.4.1.2 but with an additional d.c. convertor for controlling the intermediate current or voltage.

2.1.4.1.5 Indirect a.c. convertor with intermediate rectifier

A connection consisting of three convertors which are connected via an intermediate a.c. link and a d.c. voltage-source or current-source intermediate link.

NOTE - The frequency of the intermediate a.c. voltage is normally higher than the frequency of supply in order to reduce the transformer size.

2.1.4.1.6 Indirect a.c. convertor with intermediate inverter

A connection consisting of three convertors which are connected via an intermediate d.c. link and an intermediate a.c. link.

NOTE - The frequency of the intermediate a.c. link is normally higher than the output frequency in order to reduce the size of the output transformer.

2.1.4.2 Supply from a d.c. voltage contact line or onboard battery

Table 3 – Block diagram of convertor equipment

Converter equipment	Block diagram
Inverter (2.1.4.2.1)	
Indirect inverter with intermediate d.c. link (2.1.4.2.2)	
Indirect inverter with intermediate a.c. link (2.1.4.2.3)	
Indirect inverter with an intermediate a.c. and an intermediate d.c. link (2.1.4.2.4)	
Indirect inverter with an intermediate d.c. and an intermediate a.c. link (2.1.4.2.5)	

2.1.4.2.1 *Onduleur*

Onduleur qui convertit directement la tension continue d'entrée en une tension de sortie alternative polyphasée pour les moteurs de traction.

2.1.4.2.2 *Onduleur indirect avec une interface intermédiaire à courant continu*

Convertisseur comportant un convertisseur direct de courant continu (hacheur) et un onduleur qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant continu contenant habituellement des réservoirs d'énergie.

NOTE - Le convertisseur de courant continu peut fournir une tension continue d'interface soit constante, soit variable, par exemple pour alimenter un onduleur source de courant.

2.1.4.2.3 *Onduleur indirect avec une interface intermédiaire à courant alternatif*

Convertisseur comportant un onduleur et un convertisseur de courant alternatif qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant alternatif.

NOTE - La fréquence de l'interface intermédiaire à courant alternatif est normalement plus élevée que la fréquence de sortie afin de réduire la taille du transformateur.

2.1.4.2.4 *Onduleur indirect avec redresseur intermédiaire*

Assemblage de trois convertisseurs qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant alternatif et une interface intermédiaire à courant continu.

NOTE - La fréquence de l'interface intermédiaire à courant alternatif est normalement élevée afin de réduire la taille du transformateur.

2.1.4.2.5 *Onduleur indirect avec onduleur intermédiaire*

Assemblage de trois convertisseurs qui sont reliés par une interface intermédiaire à courant continu et une interface intermédiaire à courant alternatif.

NOTE - La fréquence de l'interface intermédiaire à courant alternatif est normalement plus élevée que la fréquence de sortie afin de réduire la taille du transformateur de sortie.

2.2 Définitions relatives aux moteurs

2.2.1 *Moteurs tournants*

- moteurs asynchrones habituellement avec rotor à cage d'écureuil,
- moteurs synchrones avec ou sans bagues.

2.2.2 *Moteurs linéaires*

- moteurs linéaires asynchrones,
- moteurs linéaires synchrones.

tous du type à stator court (c'est-à-dire que l'enroulement polyphasé est installé sur le véhicule et que le rail de réaction ou l'enroulement inducteur ou l'aimant d'excitation est installé sur la voie).

2.1.4.2.1 *Inverter*

An inverter which directly converts the d.c. input voltage into a multi-phase a.c. output voltage for traction motors.

2.1.4.2.2 *Indirect inverter with intermediate d.c. link*

A convertor consisting of a direct d.c. convertor (chopper convertor) and an inverter which are connected via a d.c. intermediate link usually containing energy stores.

NOTE - The d.c. convertor may supply either a constant or a variable d.c. link voltage, for example for feeding a current-source inverter.

2.1.4.2.3 *Indirect inverter with intermediate a.c. link*

A convertor consisting of an inverter and an a.c. convertor which are connected via an intermediate a.c. link.

NOTE - The frequency of the intermediate a.c. link is normally higher than the output frequency in order to reduce the transformer size.

2.1.4.2.4 *Indirect inverter with intermediate rectifier*

A connection consisting of three convertors which are connected via an intermediate a.c. link and an intermediate d.c. link.

NOTE - The frequency of the intermediate a.c. link is normally high in order to reduce the transformer size.

2.1.4.2.5 *Indirect inverter with intermediate inverter*

A connection consisting of three convertors which are connected via an intermediate d.c. link and an intermediate a.c. link.

NOTE - The frequency of the intermediate a.c. link is normally higher than the output frequency in order to reduce the output transformer size.

2.2 Definitions relating to motors

2.2.1 *Rotating motors*

- asynchronous motors usually with squirrel cage rotor,
- synchronous motors with or without sliprings.

2.2.2 *Linear motors*

- asynchronous linear motors,
- synchronous linear motors.

both of the short stator type (i.e. the multi-phase winding is mounted on the vehicle and the reaction rail or the exciter winding or the exciting magnet are situated on the track).

2.2.3 Alimentation des moteurs

2.2.3.1 Alimentation individuelle

Circuit avec un onduleur séparé pour chaque moteur.

2.2.3.2 Alimentation par barres omnibus

Circuit dans lequel un ou plusieurs onduleurs alimentent, par un jeu de barres omnibus, un ou plusieurs moteurs. Dans un même véhicule, un ou plusieurs jeux de barres omnibus (par exemple un jeu de barres omnibus par bogie) peuvent être disposés.

NOTE - Des filtres peuvent être disposés entre les onduleurs, les barres omnibus et les moteurs afin de réduire le taux d'ondulation et les pertes.

2.3 Définitions relatives aux Interfaces Intermédiaires à courant continu

2.3.1 Interface intermédiaire source de tension

Circuit reliant deux convertisseurs, qui a les propriétés d'une source de tension, c'est-à-dire qui a une basse impédance de sortie, au moins pour les phénomènes dynamiques, par exemple grâce à un condensateur connecté en parallèle sur la charge.

L'interface intermédiaire source de courant peut fonctionner à tension commandée constante ou variable.

2.3.2 Interface intermédiaire source de courant

Circuit reliant deux convertisseurs, qui a les propriétés d'une source de courant, c'est-à-dire qui a une haute impédance de sortie, au moins pour les phénomènes dynamiques, par exemple grâce à une inductance connectée en série avec la charge.

2.3.3 Filtres

Dans le cas d'une alimentation à courant alternatif monophasé, des filtres additionnels (réservoirs d'énergie) sont nécessaires pour absorber la différence entre la puissance de la source (qui est modulée à une fréquence double de celle de la ligne) et la puissance fournie à la charge (qui est habituellement constante, pendant plusieurs périodes du courant de la ligne).

2.4 Définitions relatives aux montages convertisseurs

Il est utilisé sur les véhicules ferroviaires différents types de convertisseurs commutés par la ligne, commutés par la charge et autocommutés. Par souci de clarté, aucune classification des montages d'extinction des convertisseurs autocommutés n'a été entreprise. Le symbole donné par la figure 3 est utilisé pour les valves avec possibilités d'allumage et d'extinction (par exemple les thyristors GTO) ou pour les valves avec possibilités d'allumage (par exemple les thyristors) en combinaison avec un circuit d'extinction.

2.2.3 Motor supply

2.2.3.1 Individual supply

Circuit with one separate inverter for each motor.

2.2.3.2 Busbar supply

Circuit where one or more inverters feed, via a busbar, one or more motors. In one vehicle, one or more busbars (e.g. bogie busbars) can be provided.

NOTE - Filters may be arranged between inverters, busbars and motors in order to reduce ripple content and losses.

2.3 Definitions relating to intermediate d.c. link

2.3.1 Voltage-source intermediate link

A circuit, linking two convertors, which has the properties of a voltage source, i.e. which has a low output impedance, at least for dynamic processes, for example due to a capacitor connected in parallel to the load.

The voltage-source intermediate link can be operated with either controlled constant or variable voltage.

2.3.2 Current-source intermediate link

A circuit, linking two convertors, which has the properties of a current source, i.e. which has a high output impedance, at least for dynamic processes, for example due to a reactor connected in series with the load.

2.3.3 Filters

In the case of single-phase a.c. supply, additional filters (energy stores) are needed to absorb the difference between the power from the supply (which pulsates with twice the line frequency) and the power supplied to the load (which usually is constant, during several periods of the line current).

2.4 Definitions relating to convertor connections

Different types of line-commutated, load-commutated and self-commutated convertors are used on rail vehicles. For the sake of clarity, no classification of self-commutated turn-off connections has been undertaken. Rather the symbol of figure 3 shall be used for valves with firing and turn-off capabilities (e.g. GTO-thyristor) or for valves with firing capability (e.g. thyristor) in combination with a turn-off circuit.

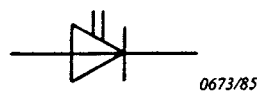


Figure 3 – Symbole général

2.4.1 Hacheur

Il est possible d'obtenir, au moyen d'un hacheur, un rapport de transformation réglable entre une source à courant continu et une charge. Les hacheurs peuvent être utilisés comme circuits d'entrée ou comme circuits intermédiaires. On distingue:

2.4.1.1 Hacheur abaisseur

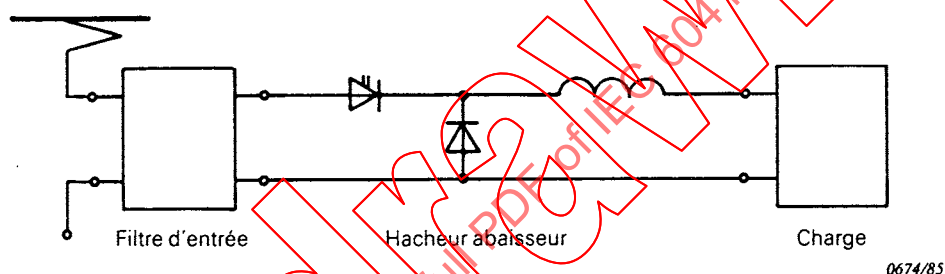


Figure 4 – Schéma de base d'un hacheur abaisseur

2.4.1.2 Hacheur élévateur

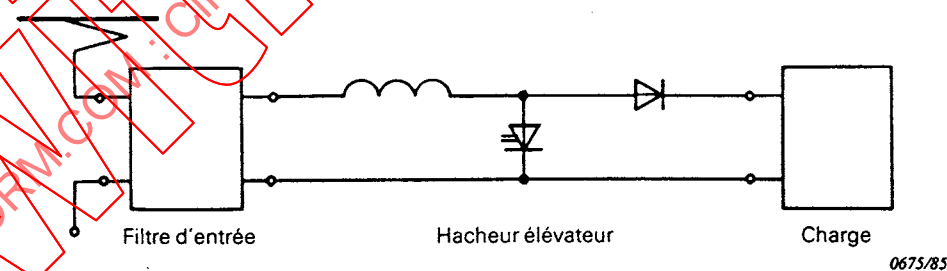


Figure 5 – Schéma de base d'un hacheur élévateur

Pour plus de détails, voir la CEI 411-4.

2.4.2 Redresseur

NOTE - Le terme «redresseur» est utilisé en se référant au flux principal d'énergie, par exemple en mode traction. Cependant, certains montages des figures 6 et 7 sont capables de fonctionner comme des onduleurs, en inversant le sens du flux d'énergie, en mode freinage.

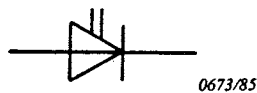


Figure 3 – General symbol

2.4.1 Chopper

It is possible to produce, by means of a chopper, a controllable transformation ratio between d.c. source and load. Choppers can be used as input or intermediate circuit choppers. A distinction is drawn between:

2.4.1.1 Step-down chopper

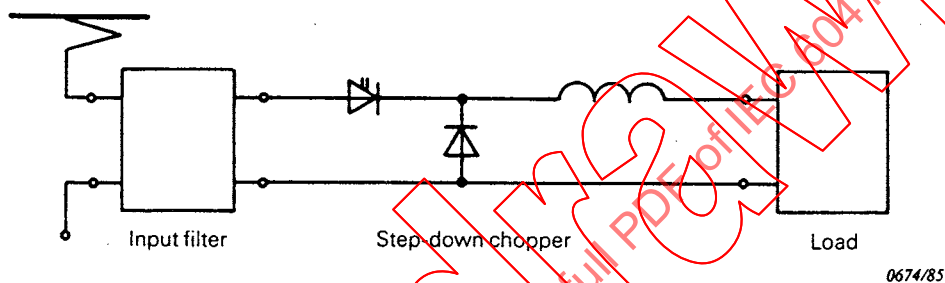


Figure 4 – Basic circuit diagram of a step-down chopper

2.4.1.2 Step-up chopper

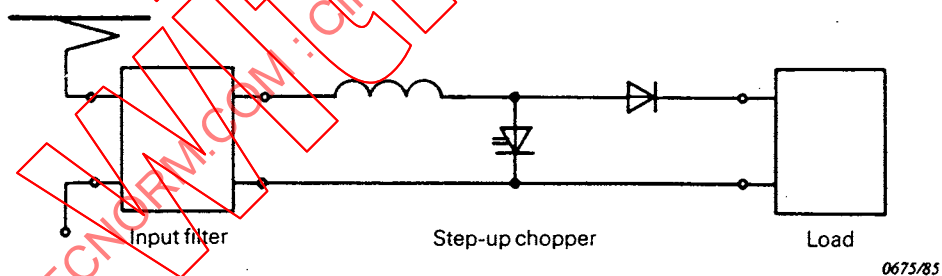


Figure 5 – Basic circuit diagram of a step-up chopper

For further details see IEC 411-4.

2.4.2 Rectifier

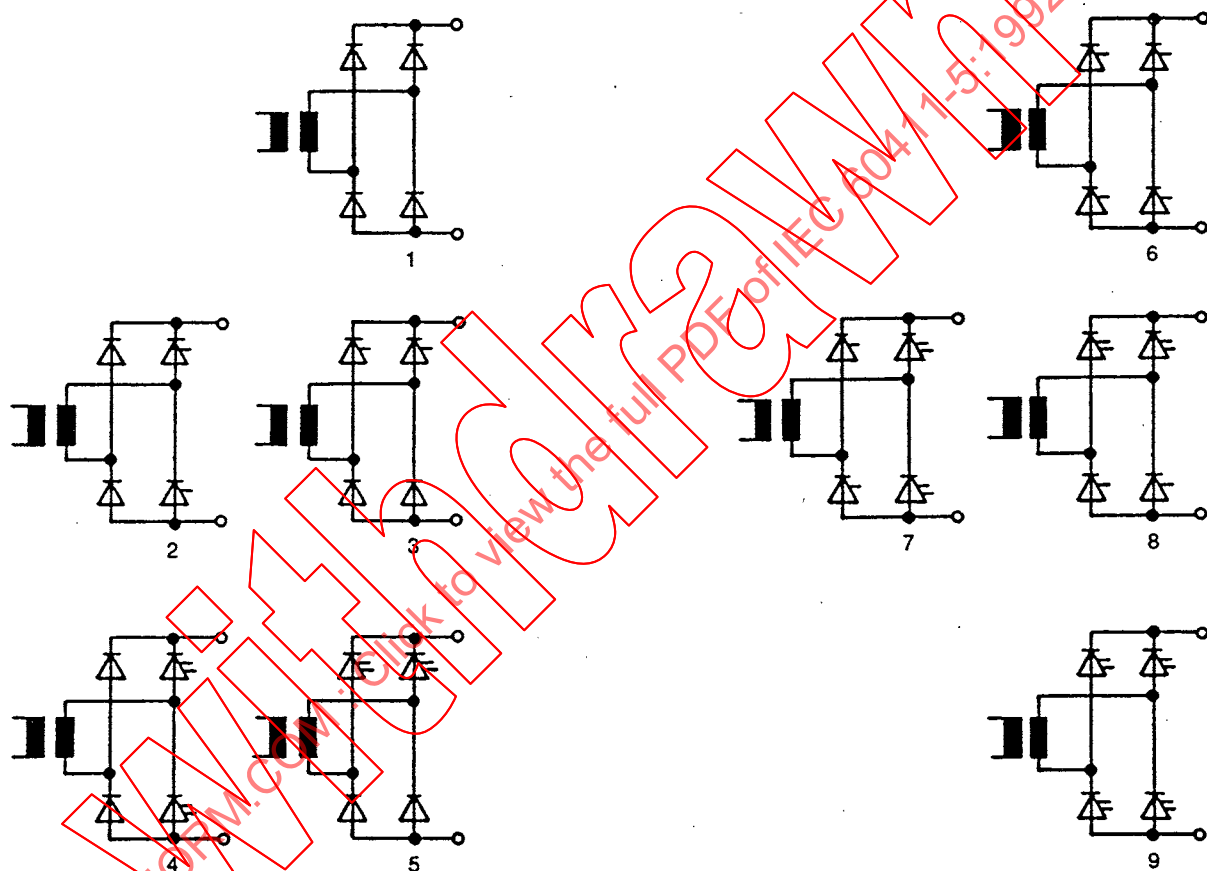
NOTE - The term "rectifier" is used here referring to the main energy flow, i.e. in the motoring mode. Some of the connections shown in figures 6 and 7, however, are able to operate as inverters, reversing the energy flow in the braking mode.

2.4.2.1 Montages en pont triphasé

Dans le cas d'une alimentation à tension polyphasée, des montages en pont triphasé non commandés, semi-commandés et totalement commandés sont utilisés: pour plus de détails voir la CEI 146.

2.4.2.2 Montages en pont monophasé

Dans le cas de convertisseurs destinés à fonctionner dans des réseaux monophasés, des montages en pont monophasé sont généralement utilisés, comme indiqué sur la figure 6, ou des combinaisons de ceux-ci.



CEI 022/92

Figure 6 – Types de ponts monophasés

2.4.2.2.1 Commande

En correspondance avec les propriétés des valves à semiconducteurs, les propriétés de commande des montages en pont peuvent être décrites par les termes ci-dessous:

- a) non commandé;
- b) semi-commandé (avec commande unipolaire ou avec commande d'une paire de bras);

2.4.2.1 Three-phase bridge connections

In the case of multiphase voltage supply, uncontrolled, half-controlled and fully-controlled three-phase bridge connections are used: for further details see IEC 146.

2.4.2.2 Single-phase bridge connections

In the case of converters for operation in single-phase systems, single-phase bridge connections, as shown in figure 6, or combinations thereof, are, in general, used.

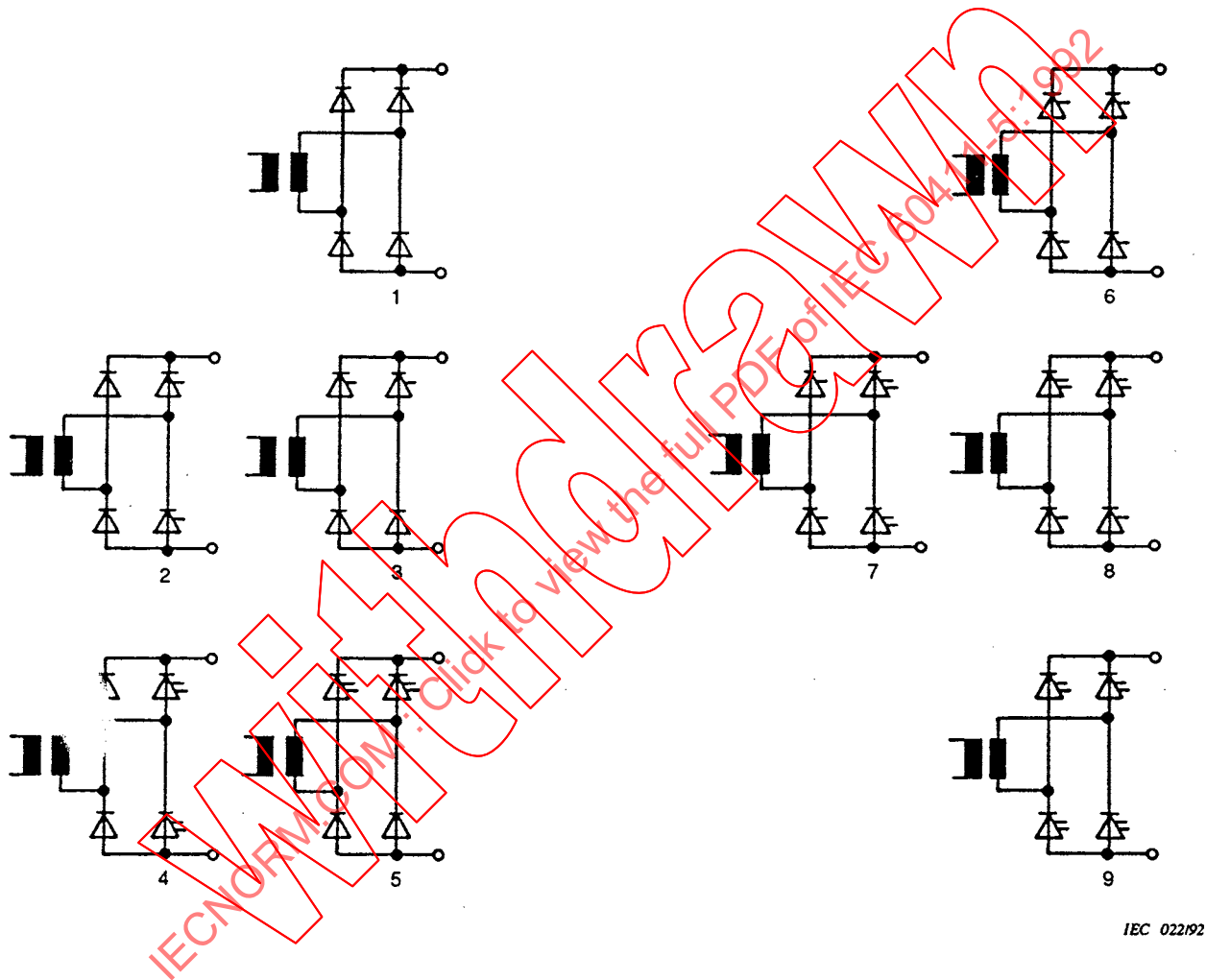


Figure 6 – Types of single-phase bridges

2.4.2.2.1 Controllability

Corresponding with the properties of semiconductor valves, the control properties of bridge connections may be described by the terms given below:

- a) non-controllable;
- b) half-controllable (single-pole controllable or one pair of arms controllable);

- c) semi-commandé et semi-blocable (avec commande et blocage unipolaires ou avec commande et blocage d'une paire de bras);
- d) totalement commandé;
- e) totalement commandé et semi-blocable;
- f) totalement commandé et totalement blocable.

En considérant la méthode de réglage utilisée pour les montages en pont, une distinction doit être faite entre le réglage de phase, le réglage par secteur et le réglage par impulsion.

Le réglage de phase est une méthode de réglage caractérisée par un bras de pont qui est allumé une seule fois pendant une demi-période de la tension d'alimentation et qui s'éteint lorsque la tension sinusoïdale passe par 0.

Le réglage par secteur est une méthode de réglage caractérisée par un bras de pont qui est allumé et en conséquence éteint une fois durant une demi-période de la tension d'alimentation.

Au contraire, le réglage par impulsion implique la répétition de l'allumage et de l'extinction d'un bras de pont durant une demi-période de la tension d'alimentation.

Il en résulte un classement des montages en pont et de leur commande sous forme de matrice, comme indiqué dans le tableau 4.

Tableau 4 – Relation entre les montages en pont (figure 6) et la commande (2.4.2.2.1)

Propriétés de la commande	Non commandé a	Semi-commandé b		Semi-commandé et semi-blocable c		Totalement commandé d	Totalement commandé et semi-blocable e		Totalement commandé et totalement blocable f
Montage en pont Montage de réglage Réglage de phase Réglage par impulsion ou par secteur	Pont homogène non commandé	Pont mixte allumable		Pont mixte allumable et blocable		Pont homogène allumable	Pont mixte allumable et blocable		Pont homogène allumable et blocable
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	-	+	+	+	+	+	+	+	+
	-	-	-	+	+	-	+	+	+

- c) half-controllable and with half turn-off capability (single-pole control and turn-off capability or one pair of arms controllable and with turn-off capability);
- d) fully controllable;
- e) fully controllable and with half turn-off capability;
- f) with full control and turn-off capability.

When considering the method of control used for bridge connections a distinction shall be drawn between phase control, sector control and pulse control.

Phase control is a control method characterized by a bridge arm which turns-on once during a half supply voltage period and turns-off when branch current passes through 0.

Sector control is a control method characterized by a bridge arm which is fired and subsequently turned-off once during a half supply voltage period.

In contrast, pulse control involves repeated firing and turning-off of a bridge arm during a half supply voltage period.

The resulting classification matrix of the group of bridge connections and controllability is shown in table 4.

Table 4 – Relation between bridge connections (figure 6) and controllability (2.4.2.2.1)

Control properties	Non-controllable a	Half-controllable b	Half-controllable and with half turn-off capability c	Fully controllable d	Fully controllable and with half turn-off capability e	Fully controllable and with full turn-off capability f			
Bridge connection	Non-controllable uniform bridge	Non-uniform bridge with turn-on capability		Non-uniform bridge with turn-on and turn-off capability		Uniform bridge with turn-on capability	Non-uniform bridge with turn-on and turn-off capability		Uniform bridge with turn-on and turn-off capacity
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Control method									
Phase-controlled	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Pulse/sector controlled	-	-	-	+	+	-	+	+	+

2.4.2.2.2 *Combinaison de montages en pont monophasés comportant des mises en parallèle et en série du côté alternatif ou du côté continu*

En ce qui concerne les combinaisons possibles de montages en pont à onde double comportant une mise en parallèle du côté alternatif, une distinction doit être faite entre les quatre principes de base suivants:

- a) mise en série du côté continu;
- b) mise en parallèle du côté continu;
- c) mise en antiparallèle du côté continu;
- d) mise en parallèle du côté alternatif.

Plusieurs exemples sont indiqués sur la figure 7.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60411-5:1992

Withdrawn

2.4.2.2.2 *Combination of single-phase bridge connections using parallel and series arrangements on the a.c. or d.c. side*

With regard to possible combinations of double-pulse bridge connections using parallel arrangement on the a.c. side, a distinction has to be made between the following four basic principles:

- a) series arrangement on the d.c. side;
- b) parallel arrangement on the d.c. side;
- c) inverse-parallel arrangement on the d.c. side;
- d) parallel arrangement on the a.c. side.

Several examples are shown in figure 7.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60411-5:1992

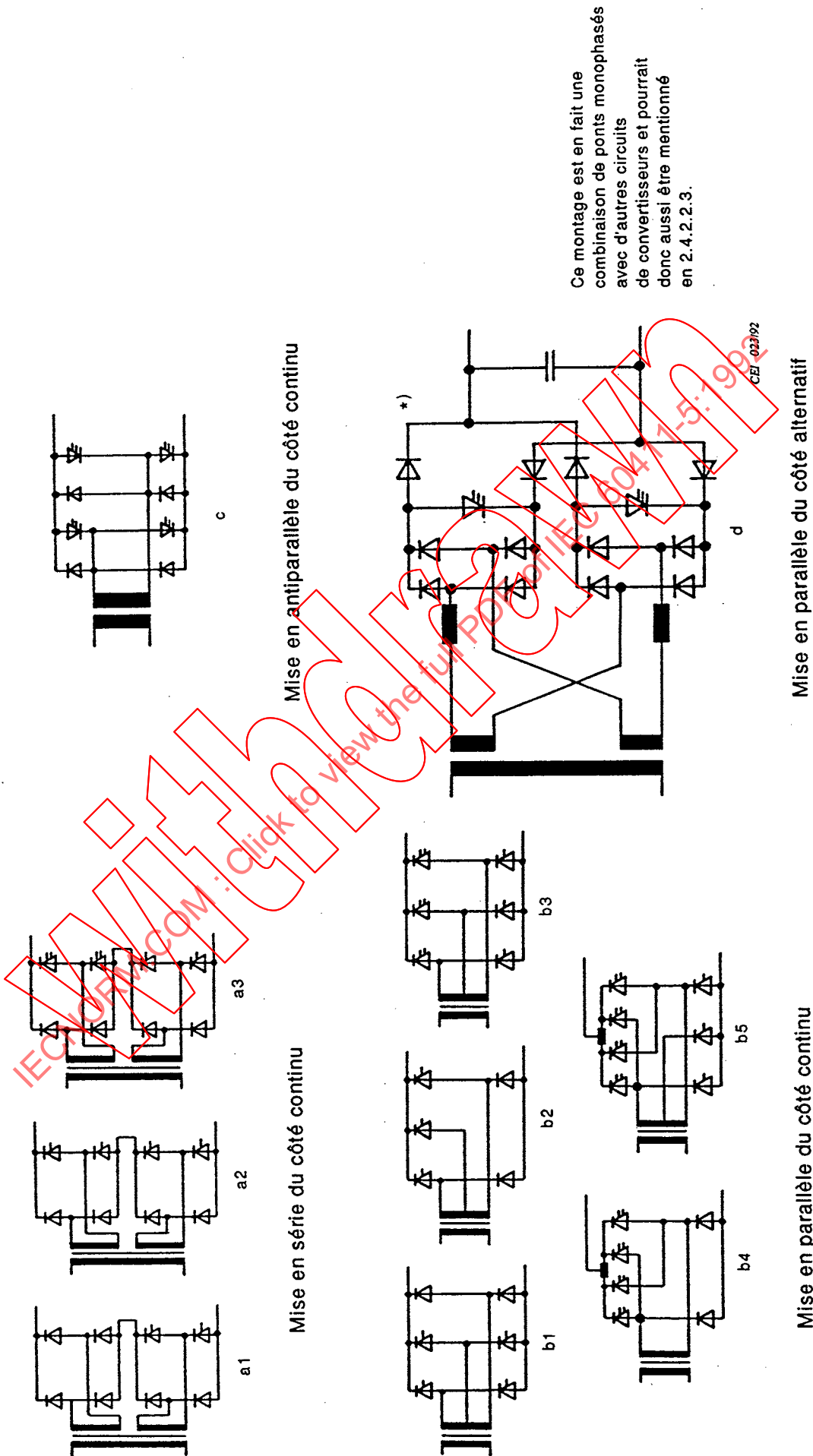


Figure 7 – Mises en série et en parallèle de montages en pont (exemples)

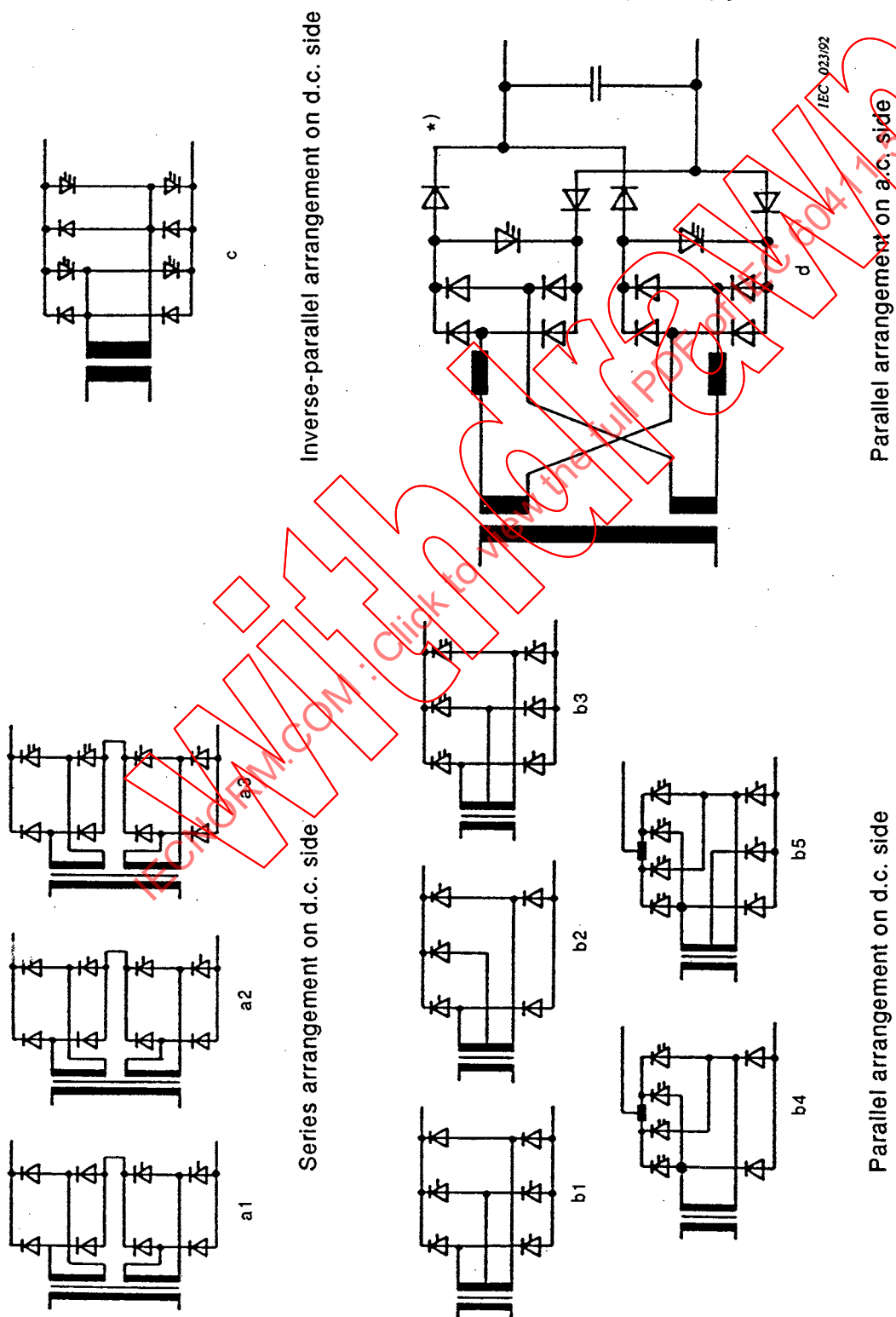
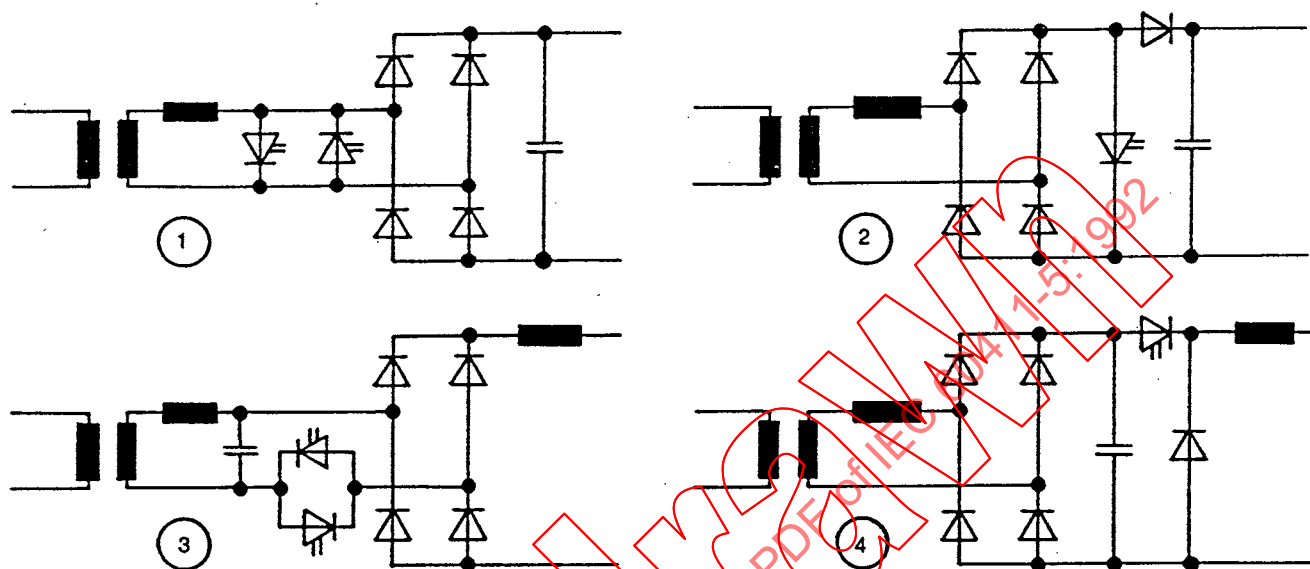


Figure 7 – Series and parallel arrangements of bridge connections (examples)

2.4.2.2.3 Combinaison de montages en pont monophasés et d'autres circuits de convertisseurs

Les convertisseurs à faible effet perturbateur sur la ligne, appropriés au fonctionnement à partir d'une alimentation à courant alternatif monophasé, peuvent aussi prendre la forme de combinaisons de ponts monophasés non commandés et de hacheurs ou de régulateurs de courant alternatif. Des exemples de quatre types connus de combinaisons sont donnés à la figure 8.



CEI 024/92

Figure 8 – Combinaisons de ponts monophasés non commandés avec des hacheurs de courant continu et des régulateurs de courant alternatif

Les types mentionnés en ① et ② alimentent un réservoir capacitif d'énergie qui peut être complété par un montage en parallèle d'autres types de filtres, dont l'un peut être accordé pour le double de la fréquence principale. Le réservoir d'énergie soit fournit la tension constante de l'interface intermédiaire à courant continu pour un onduleur source de tension, soit fournit la tension d'entrée pour un hacheur série nécessaire à l'ajustage du courant. Les montages mentionnés en ③ et ④ fournissent une tension de sortie variable. Dans le cas des montages ① et ③ les composants avec allumage et extinction sont situés du côté alternatif et doivent en conséquence être disposés pour les deux sens du courant.

2.4.3 Onduleurs

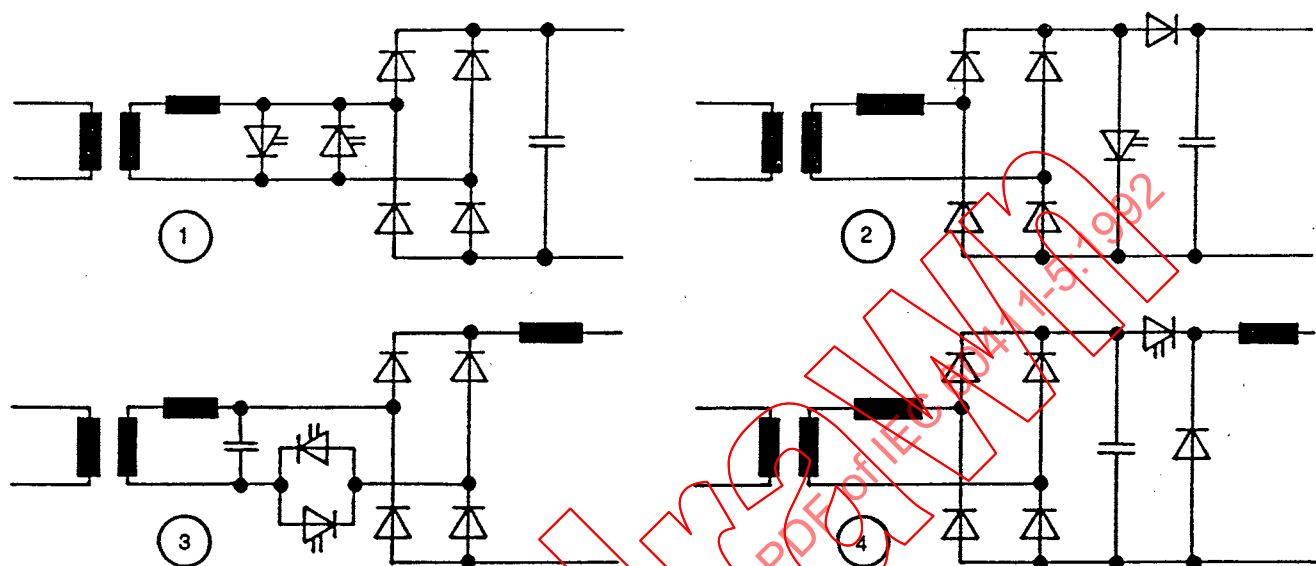
2.4.3.1 Onduleurs commutés par la charge

Ce sont des onduleurs qui prélèvent leur tension de commutation aux machines électriques reliées à leur sortie.

NOTE - Dans la zone des vitesses basses, où la machine n'est pas en mesure de fournir la tension de commutation requise, les onduleurs de ce type nécessitent un dispositif auxiliaire de commutation ou une interruption cyclique du courant par le convertisseur côté ligne ou par un convertisseur intermédiaire.

2.4.2.2.3 Combinations of single-phase bridge connections and other convertor circuits

Convertors producing low line perturbation, suitable for operation on a single-phase a.c. supply, can also take the form of combinations of non-controllable single-phase bridges and choppers or a.c. controllers. Examples of four types of circuit arrangement are shown in figure 8.



IEC 024/92

Figure 8 – Combinations of non-controllable single-phase bridges with d.c. choppers and a.c. controllers

Types shown under ① and ② feed into a capacitive energy store which may be supplemented by a parallel connection of other filter arrangements one of which can be tuned to twice the power frequency. The energy store either provides the constant intermediate d.c. link voltage for a voltage-source inverter, or it provides the input voltage for a series chopper required for adjusting the current. Circuit arrangements as shown under ③ and ④ provide a variable output voltage. In the case of circuit arrangements ① and ③ control and turn-off components are located on the a.c. side and must therefore be provided for both current directions.

2.4.3 Inverters

2.4.3.1 Load-commutated inverter

These are inverters which derive their commutating voltage from the electrical machine connected to their output.

NOTE - In the lower speed range, where the machine is not in a position to provide the necessary commutating voltage, inverters of this type require an auxiliary commutating device or cyclic interruption of the current by the line-side convertor or by an intermediate convertor.

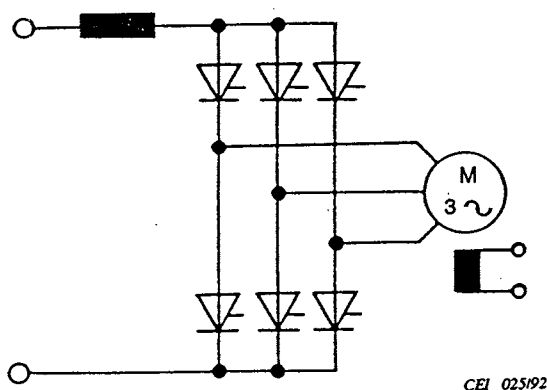


Figure 9 – Montage de base d'un onduleur commuté par la charge

2.4.3.2 Onduleurs autocommutés

Ce sont des onduleurs qui prélèvent leur tension de commutation aux composants internes à l'onduleur.

2.4.3.2.1 Onduleurs source de tension

Les onduleurs sources de tension sont des onduleurs autocommutés qui sont alimentés à partir d'une interface intermédiaire source de tension continue ou d'une autre source à courant continu conformément à 2.3.1. Ils imposent à la charge une tension alternative avec une basse impédance interne.

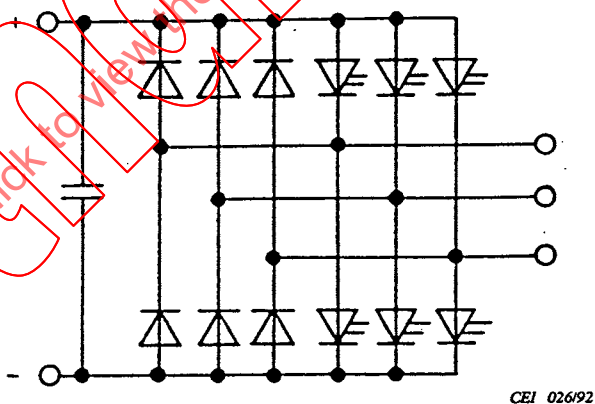
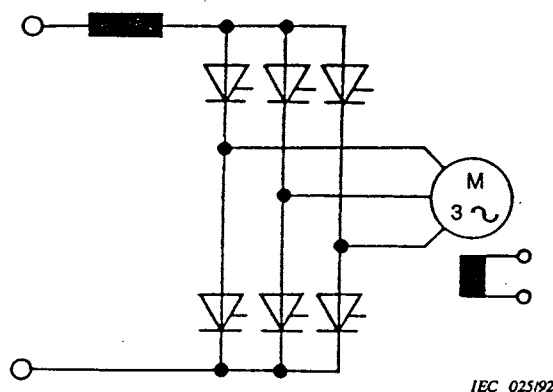


Figure 10 – Montage de base d'un onduleur source de tension

NOTE - La tension de sortie de l'onduleur indiqué à la figure 10 peut avoir seulement deux états (c'est-à-dire + ou - la tension d'entrée). Le montage onduleur indiqué à la figure 11 peut fournir une tension de sortie à trois états (c'est-à-dire +, - et 0), engendrant des courants harmoniques plus faibles à la même fréquence de commutation.



IEC 025192

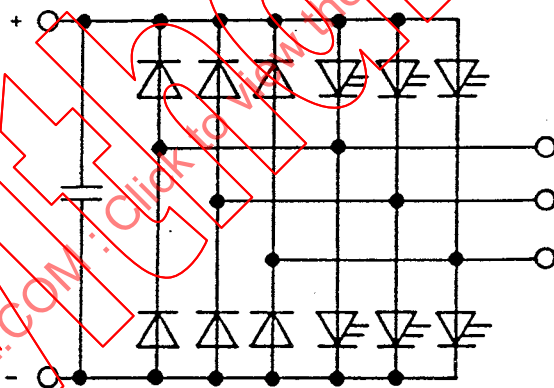
Figure 9 – Basic connection of a load-commutated inverter

2.4.3.2 Self-commutated inverters

These are inverters which derive their commutating voltage from components within the inverter.

2.4.3.2.1 Voltage-source inverters

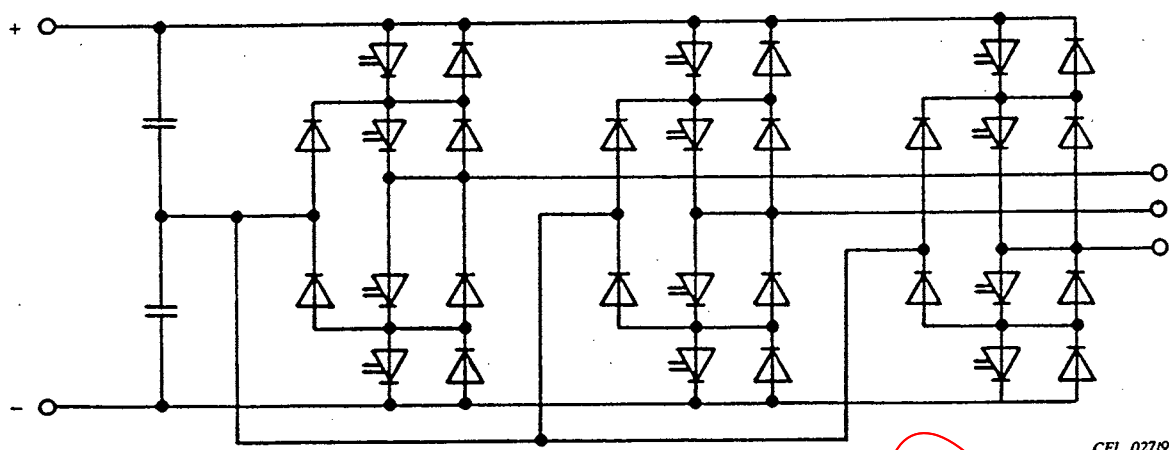
Voltage-source inverters are self-commutated inverters which are fed from a d.c. voltage-source intermediate link or other d.c. source according to 2.3.1. They produce an impressed a.c. voltage with low internal impedance to the load.



IEC 026192

Figure 10 – Basic connection of a voltage-source inverter

NOTE - The output voltage of the inverter shown in figure 10 can only have two states (i.e. + or - the input voltage). A tri-state output voltage (i.e. +, - and 0) can be delivered by the inverter connection shown in figure 11, leading to lower current harmonics at the same switching frequency.

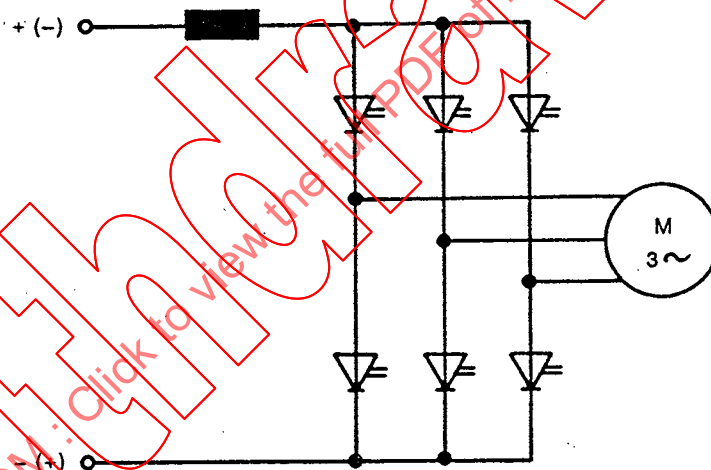


CEI 027/92

Figure 11 – Exemple de montage d'un onduleur source de tension à trois étages

2.4.3.2.2 Onduleurs sources de courant

Les onduleurs sources de courant sont des onduleurs autocommutés qui sont alimentés à partir d'une interface intermédiaire source de courant continu conformément à 2.3.2. Ils imposent à la charge un courant alternatif avec une impédance interne élevée.



CEI 028/92

Figure 12 – Montage de base d'un onduleur source de courant

2.4.3.2.3 Commande des onduleurs autocommutés

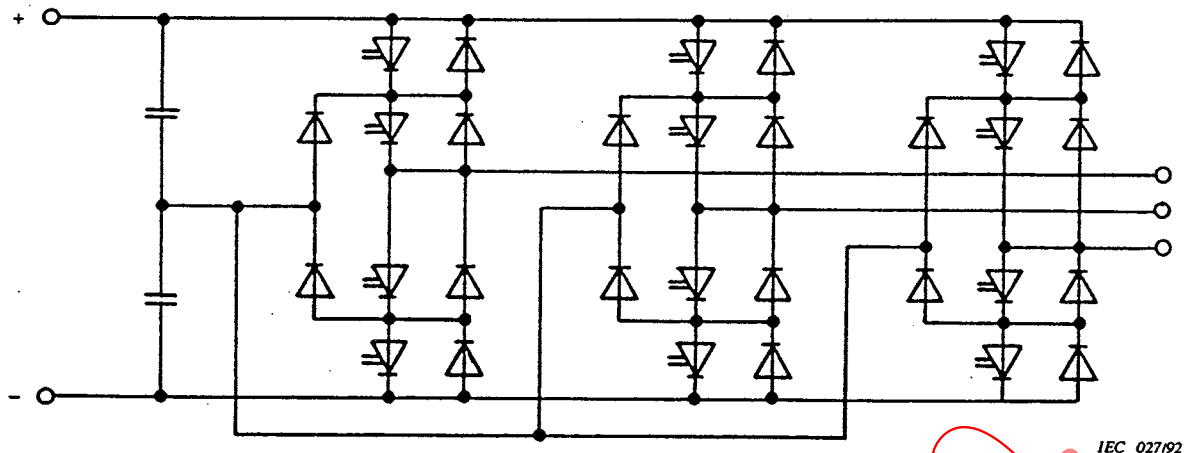
2.4.3.2.3.1 Onduleurs sources de tension

Du point de vue de la commande, deux modes de fonctionnement des onduleurs présentent un intérêt:

- 1) commande en fréquence;
- 2) commande en fréquence et/ou en tension

Mode 1: Commande en fréquence

Dans le mode 1, les phases de sortie de l'onduleur sont commutées pour délivrer une tension triphasée maximale de sortie à l'utilisation.

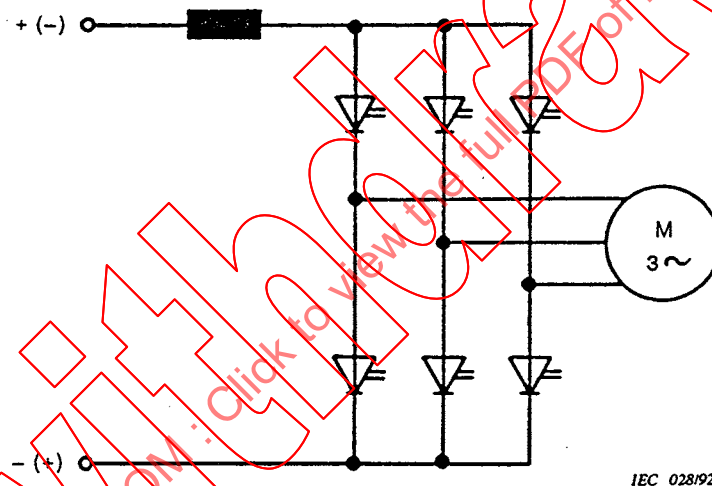


IEC 027/92

Figure 11 – Example of connection of a 3-state voltage source inverter

2.4.3.2.2 Current-source inverters

Current-source inverters are self-commutated inverters which are fed from a d.c. current-source intermediate link in accordance with 2.3.2. They produce an impressed a.c. current with high internal impedance to the load.



IEC 028/92

Figure 12 – Basic connection of a current-source inverter

2.4.3.2.3 Controllability of self-commutated inverters

2.4.3.2.3.1 Voltage-source inverters

Two modes of operation for the inverters are of interest from a controllability point of view:

- 1) frequency control;
- 2) frequency and/or voltage control.

Mode 1: Frequency control

In mode 1 the inverter output phases are switched to produce a maximum output 3-phase voltage to the load.

Dans ce mode, la tension de la phase U et la tension entre les phases U et V suivent les courbes de la figure 13a. Cette forme d'onde est dénommée onde quasi carrée.

La tension de sortie est fonction de la tension d'entrée de l'onduleur.

La tension d'entrée peut être non commandée (par exemple pour un convertisseur direct de courant continu avec interface intermédiaire à courant continu dont le redresseur est non commandé, ou commandé (par exemple convertisseur indirect de courant continu avec interface intermédiaire à courant continu).

Ce mode de fonctionnement sert principalement aux onduleurs de puissance auxiliaires et au réglage de vitesse des moteurs asynchrones, dans le domaine des grandes vitesses (au-delà de la vitesse de base).

Mode 2: Commande en fréquence et/ou en tension

Dans le mode 2, l'onduleur commande soit la fréquence, soit la tension de sortie, soit les deux.

La tension de phase de sortie de l'onduleur peut présenter la forme d'onde de la figure 13b. La fréquence fondamentale et le niveau de tension sont commandés en modifiant la largeur d'impulsion. Cette méthode de commande est appelée modulation de largeur d'impulsion (MLI); elle sert aux onduleurs de puissance auxiliaires et aux onduleurs pour le réglage de vitesse des moteurs de traction.

La modulation de largeur d'impulsion peut être soit synchrone soit asynchrone par rapport à la fréquence fondamentale de la tension de sortie.

En modulation synchrone, il existe des rapports fixes de fréquence entre la fréquence de modulation et la fréquence fondamentale de sortie. Ces rapports sont normalement des entiers impairs, par exemple 3, 5, 9, 11 etc., et diminuent généralement avec l'augmentation de la fréquence de sortie, la fréquence de commutation des dispositifs de puissance à semiconducteurs étant limitée.

La modulation asynchrone sert habituellement aux basses fréquences fondamentales de sortie. La fréquence de modulation est généralement maintenue constante, c'est-à-dire fixée à une valeur donnée par la fréquence maximale de commutation des dispositifs à semiconducteurs; dans ce cas, le rapport entre la fréquence de modulation et la fréquence fondamentale n'est plus constant mais varie en fonction de la fréquence fondamentale.

Les méthodes de modulation sont choisies de manière à minimiser les harmoniques du courant de sortie sur toute la plage des fréquences fondamentales de sortie.

La tension continue d'entrée de l'onduleur peut être soit régulée soit non régulée. Lorsque la tension continue d'entrée est régulée, elle l'est habituellement à une valeur fixe.

The voltage of phase U and phase-to-phase voltage $U-V$ will in this mode follow the curves in figure 13a. This waveshape is called quasi-square wave.

The output voltage depends on the input voltage to the inverter.

The input voltage can be either uncontrolled (e.g. direct d.c. convertor with intermediate d.c. link where the rectifier is uncontrolled), or controlled (e.g. indirect d.c. convertor with intermediate d.c. link).

This operation mode is mainly used for auxiliary power inverters and for speed control of asynchronous motors in the high speed region (above base speed).

Mode 2: Frequency and/or voltage control

In mode 2 the inverter controls either frequency or output voltage, or both of them.

The inverter output phase voltage may in this mode have a waveshape as in figure 13b. The fundamental frequency and voltage level are controlled by changing the pulse width. The control method is called pulse width modulation (PWM) and is applied for both auxiliary power inverters and inverters for speed control of traction motors.

Pulse width modulation can be either synchronous or asynchronous with respect to the fundamental frequency of the output voltage.

With synchronous modulation there are fixed frequency ratios between the modulation frequency and the fundamental output frequency. The frequency ratios usually are odd integer numbers such as 3, 5, 9, 11, etc., and are generally reduced when the fundamental output frequency increases, because the switching frequency of high power semiconductor devices is limited.

Asynchronous modulation usually is applied at low fundamental output frequencies. Generally, the modulation frequency is kept constant, i.e. to a value given by the maximum switching frequency of the semiconductor devices, so the ratio between modulation frequency and fundamental frequency is not constant but varies with varying fundamental frequency.

Modulation methods are chosen in such a way as to minimize harmonics of the output current in the whole range of fundamental output frequencies.

The input d.c. voltage to the inverter can be either controlled or uncontrolled. When the input d.c. voltage is controlled, it is normally controlled to a fixed voltage.

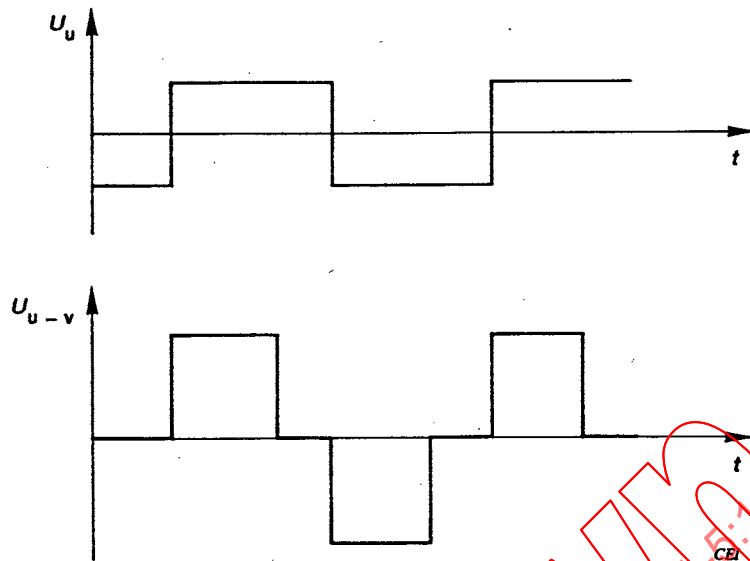


Figure 13a

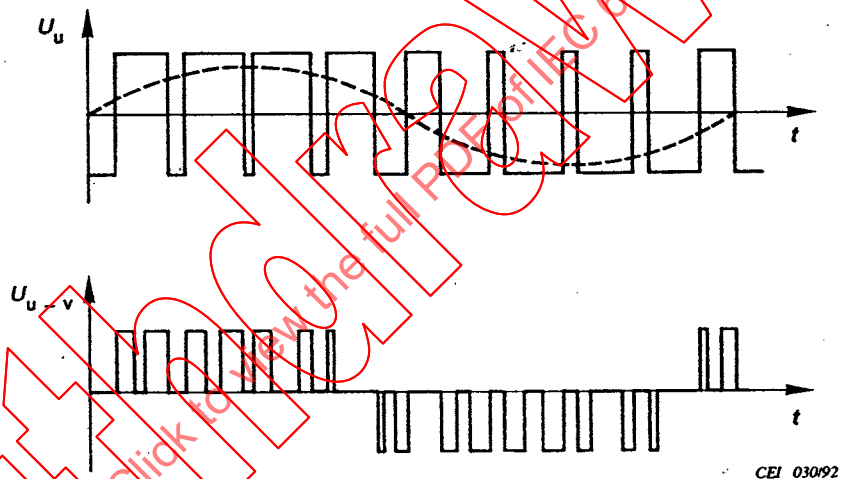


Figure 13b

Figure 13 – Formes d'ondes de tension délivrée par un onduleur

2.4.3.2.3.2 Onduleurs sources de courant

L'onduleur source de courant présentant une impédance interne élevée, il ne commande que la fréquence de sortie, alors que la charge détermine le niveau de tension; dans ce cas, il est nécessaire de commander la tension d'entrée de l'onduleur pour respecter ce niveau.

L'onduleur source de courant fonctionne généralement dans un mode à six impulsions, où la forme d'onde du courant de phase est équivalente à la tension entre phases de la figure 13a.

L'onduleur à source de courant n'est normalement pas utilisé pour alimenter des charges de puissance auxiliaires, dont l'impédance est variable.

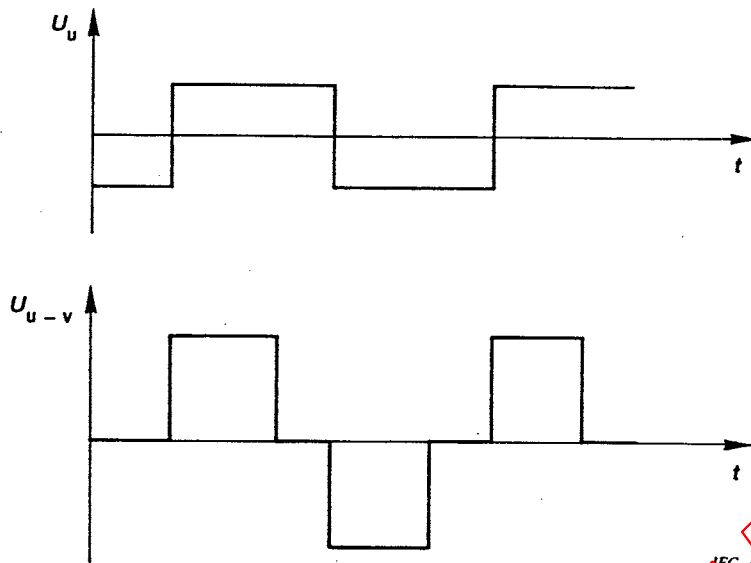


Figure 13a



Figure 13b

Figure 13 – Waveforms of inverter output voltages

2.4.3.2.3.2 Current-source inverters

As the current-source inverter has a high internal impedance the inverter only controls the output frequency, while the load itself determines the voltage level; in this case the input voltage to the inverter has to be controlled to meet this level.

The current-source inverter normally works in a six-pulse mode, where the waveform of the phase current is equivalent to the phase-to-phase voltage in figure 13a.

The current-source inverter is normally not used for auxiliary power loads as the impedance of this load varies.

Afin de diminuer les pulsations de couple provoquées par la forme d'onde rectangulaire déjà évoquée, une modulation de largeur d'impulsion MLI peut également être utilisée sur l'onduleur source de courant à basse vitesse. Dans ce cas, la forme d'onde du courant moteur est semblable à celle représentée à la figure 13b, la valeur moyenne étant quasi sinusoïdale.

2.4.3.3 *Combinaisons d'onduleurs*

En ce qui concerne la mise en série et en parallèle des entrées et des sorties des onduleurs, les combinaisons possibles sur les onduleurs sources de courant et les onduleurs sources de tension sont différentes.

Les possibilités principales sont indiquées ci-après.

2.4.3.3.1 *Mise en série des entrées*

Les entrées des onduleurs sources de courant peuvent être reliées directement en série (figure 14a).

NOTE - Ceci s'applique également aux onduleurs commutés par la charge de la figure 9.

2.4.3.3.2 *Mise en parallèle des entrées*

Les entrées des onduleurs sources de tension peuvent être reliées en parallèle (figure 14b).

2.4.3.3.3 *Mise en série des sorties*

Deux onduleurs sources de tension déclenchés à différents moments sont reliés aux enroulements ouverts du moteur, généralement par l'intermédiaire d'une réactance (figure 14c).

2.4.3.3.4 *Mise en parallèle des sorties*

Les onduleurs sources de courant peuvent être reliés en parallèle directement du côté moteur (figure 14d). La forme d'onde du courant de sortie est améliorée par le déclenchement asymétrique des deux onduleurs.

2.4.3.3.5 *Mise en parallèle des entrées et des sorties*

Les sorties de deux onduleurs sources de tension déclenchés à différents moments peuvent également être raccordés en parallèle si la différence de tension est absorbée par des réactances, des transformateurs entre phases ou la réactance du moteur dans le cas de moteurs hexaphasés (figures 14e et 14f).

In order to decrease torque pulsations due to the rectangular waveform mentioned before, for low speed operation a PWM-scheme may also be applied to the current-source inverter. In this case the waveform of the motor current is similar to the waveform shown in figure 13b, the average value being nearly sinusoidal.

2.4.3.3 *Combinations of inverters*

With regard to series and parallel arrangements of inverters on the input and output sides, the combinations allowed by current- and voltage-source inverters are different.

Hereafter are the principal possibilities.

2.4.3.3.1 *Series connection on the input side*

Current-source inverters can be directly connected, in series, on the input side (figure 14a).

NOTE - The same applies for the load-commutated inverter of figure 9.

2.4.3.3.2 *Parallel connection on the input side*

Voltage-source inverters can be connected, in parallel, on the input side (figure 14b).

2.4.3.3.3 *Series connection on the load side*

Two voltage-source inverters which are triggered at different times are connected to the open windings of the motor, usually via an interlinked reactor (figure 14c).

2.4.3.3.4 *Parallel connection on the load side*

Current-source inverters can be directly connected in parallel on the motor side (figure 14d). The waveform of the output current is improved by asymmetric triggering of both inverters.

2.4.3.3.5 *Parallel connection on input and output sides*

Two voltage-source inverters which are triggered at different times can also be connected in parallel on the load side if the difference in voltage is absorbed by reactors, interphase transformers or motor reactance in the case of motors with six winding phases (figures 14e and 14f).

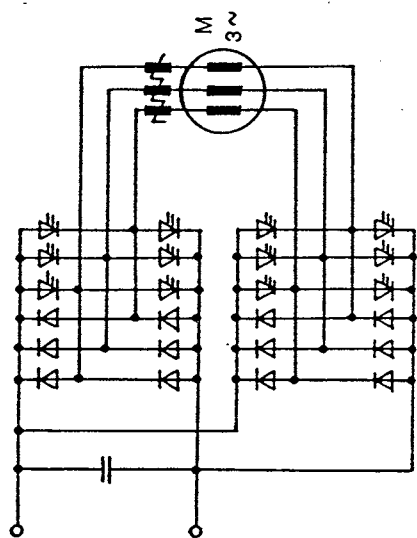


Figure c

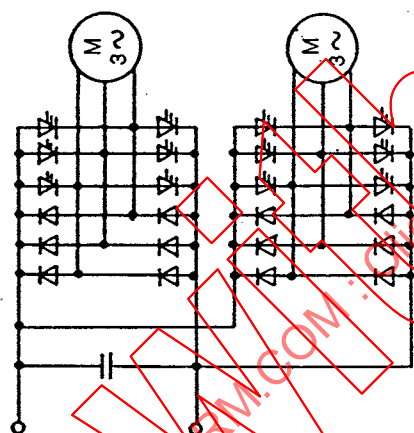


Figure b

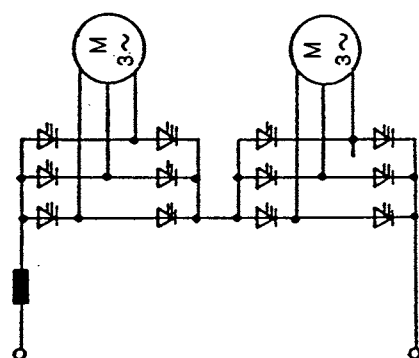


Figure a

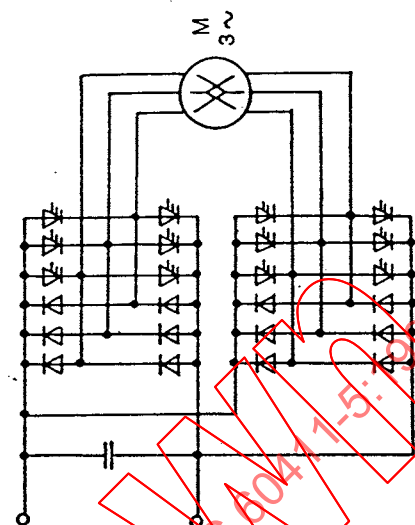


Figure f

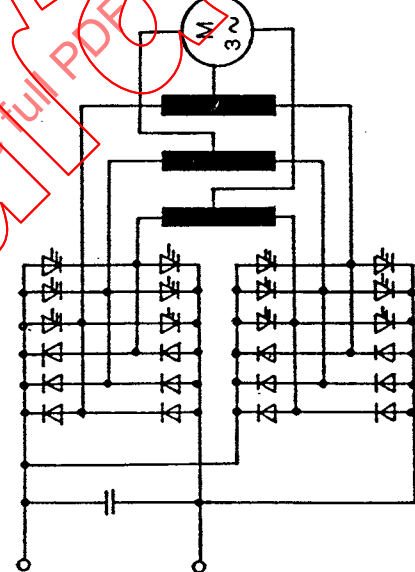


Figure e

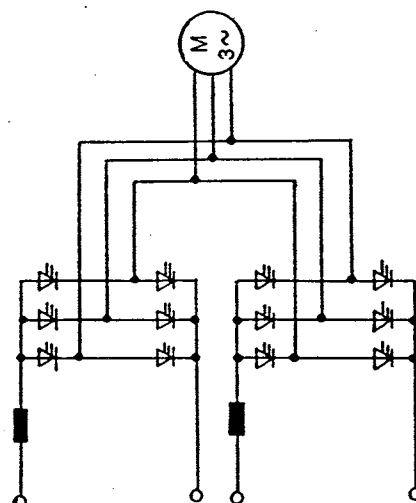


Figure d

CEI 03192

Figure 14 – Combinaison des onduleurs

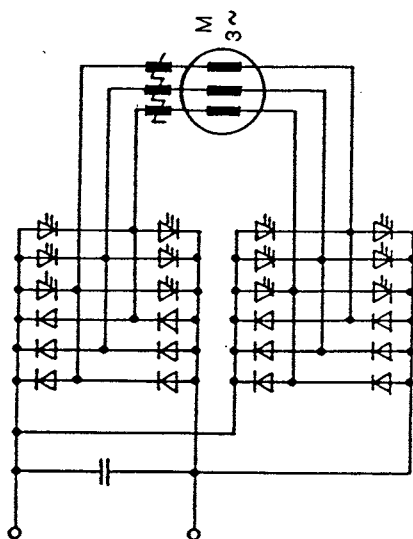
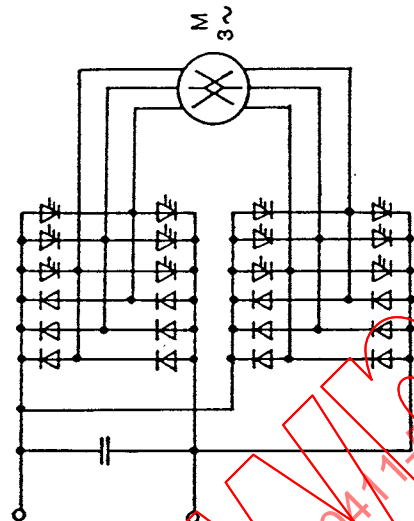


Figure c



IEC 031/92

Figure f

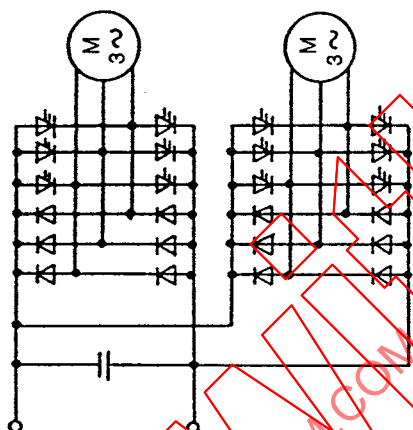


Figure b

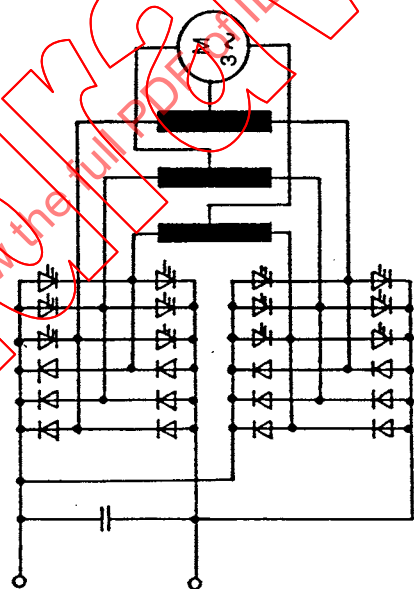


Figure e

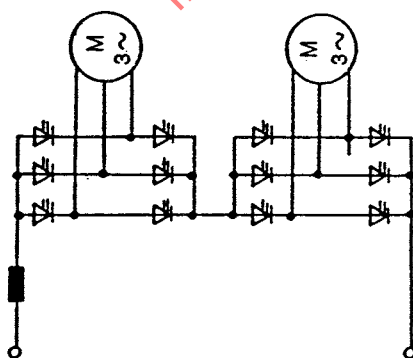


Figure a

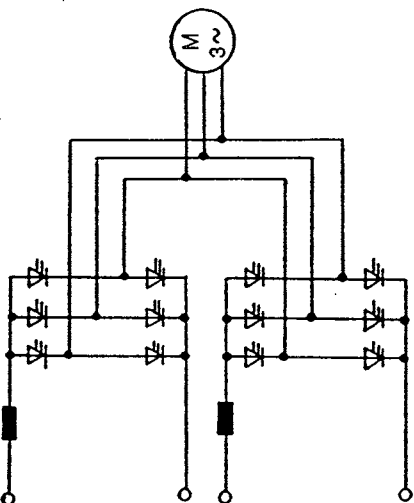


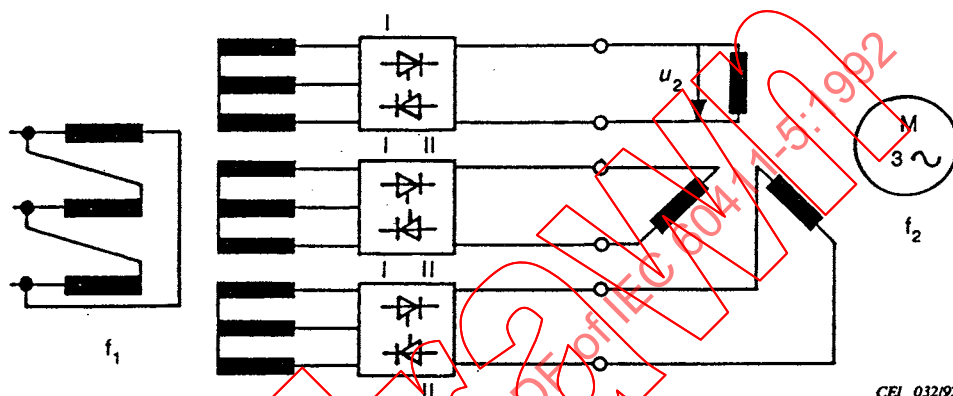
Figure d

Figure 14 - Combination of inverters

2.4.4 Convertisseur à courant alternatif (cycloconvertisseur)

Un convertisseur de fréquence qui assure la conversion d'une fréquence provenant par exemple d'un alternateur embarqué ou d'une interface intermédiaire à courant alternatif, en une fréquence plus faible, en constituant des tensions alternatives de fréquence moins élevée à partir des alternances successives à fréquence élevée du réseau.

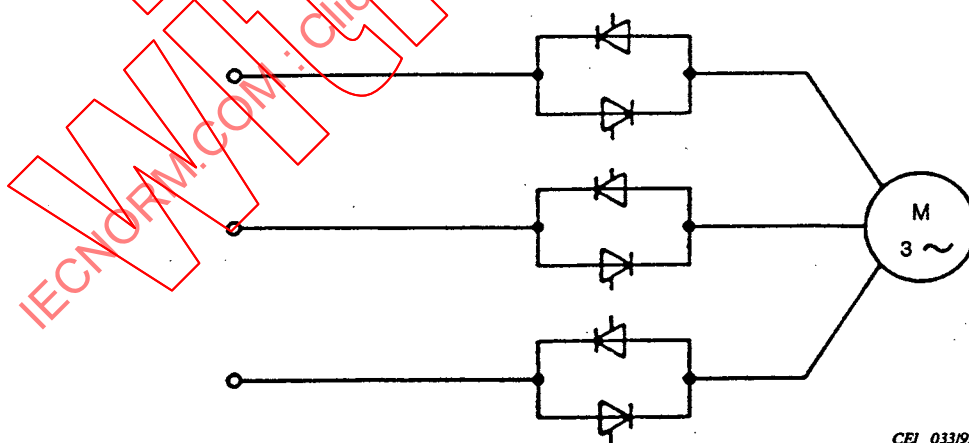
La figure 15 donne un exemple d'un convertisseur de courant alternatif à entrée et sortie triphasées. Chacun des trois blocs représente deux ponts triphasés complets reliés en antiparallèle afin de fournir les deux sens du courant de sortie.



CEI 032/92

Figure 15 – Montage de base d'un cycloconvertisseur à sortie triphasée

Un autre exemple est donné à la figure 16. Ce montage, qui se compose de trois commutateurs de puissance à courant alternatif ou de trois régleurs de puissance à courant alternatif, peut seulement changer la fréquence de sortie par paliers, en «sautant» plus ou moins d'alternances de la tension alternative d'entrée.



CEI 033/92

Figure 16 – Convertisseur de tension à courant alternatif à trois commutateurs ou régleurs à courant alternatif («sauteur d'alternances»)

2.4.4 A.C. convertor (cycloconvertor)

A frequency convertor, which converts a higher frequency (e.g. from an onboard generator or an intermediate a.c. link) to a lower frequency by building up alternating voltages of lower frequency from successive waves of the higher frequency system.

Figure 15 gives an example of an a.c. convertor with three-phase input and output. Each of the three blocks stands for two complete three-phase bridges connected in anti-parallel in order to supply both directions of output current.

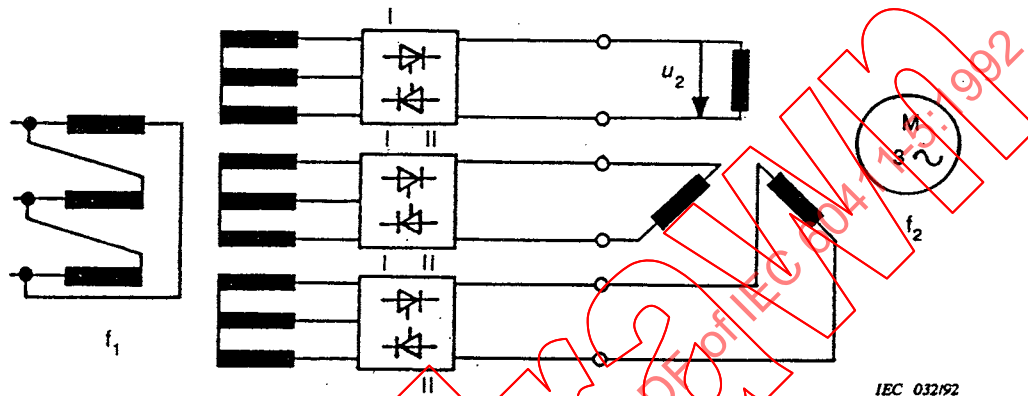


Figure 15 – Basic connection of a cycloconvertor with three-phase output

Another example is given in figure 16. This connection, consisting of three a.c. power switches or a.c. power controllers, can only change the output frequency stepwise, by "skipping" more or less waves of the input a.c. voltage.

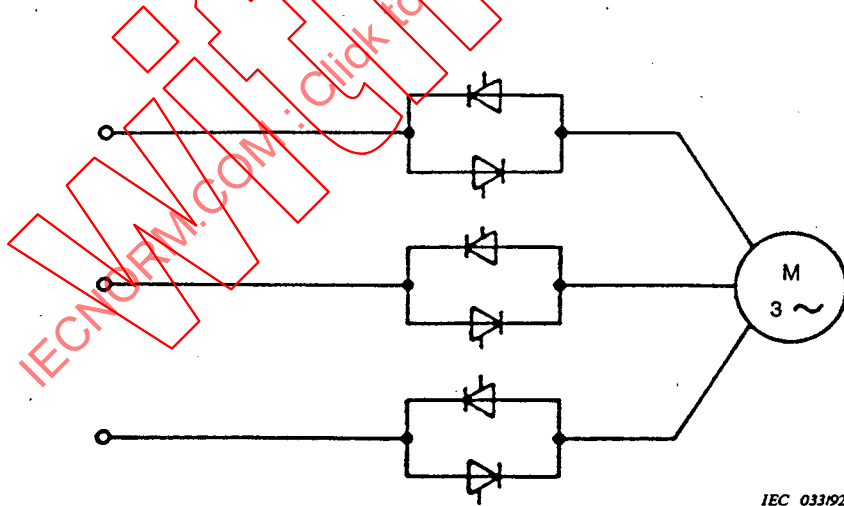


Figure 16 – A.C. convertor with three a.c. switches or controllers ("cycle skipper")

2.5 Définitions relatives aux valeurs assignées

Ce sont des paramètres électriques, thermiques, mécaniques et d'environnement compte tenu desquels le convertisseur doit fonctionner correctement conformément aux conditions de la garantie.

2.5.1 Fréquence assignée

Dans le cas de convertisseurs alimentés par le réseau, la fréquence assignée est la plage de fréquence à l'intérieur de laquelle la fréquence du réseau peut varier.

La fréquence nominale du réseau est donnée comme grandeur de référence, par exemple pour l'utilisation sur les plaques signalétiques.

Dans le cas de convertisseurs côté utilisation, la fréquence assignée est la plage de fréquence de la tension d'utilisation.

La fréquence assignée d'un convertisseur intermédiaire est la plage de fréquence de la tension alternative intermédiaire convenue entre le constructeur et l'exploitant.

2.5.2 Tension assignée

La tension assignée côté réseau est spécifiée comme la plage de variation de la tension du réseau qui est appliquée, dans les conditions garanties de fonctionnement, à l'entrée du convertisseur côté réseau. Pour une alimentation en courant continu, il s'agit d'une tension moyenne et pour une alimentation en courant alternatif, d'une tension efficace.

La tension assignée de sortie est spécifiée comme la plage de variation de la tension efficace aux bornes de sortie du convertisseur du côté utilisation, lorsque la tension et le courant d'entrée sont à leur valeur assignée.

La tension assignée d'un convertisseur intermédiaire est spécifiée comme la plage de variation de la tension de ce convertisseur convenue entre le constructeur et l'exploitant.

2.5.3 Courant assigné

Le courant assigné de sortie en régime continu est la valeur maximale du courant efficace que le convertisseur côté utilisation est capable de fournir pendant un temps illimité. Sa valeur est fonction des conditions de fonctionnement de la charge, en particulier de sa fréquence.

Le courant assigné de sortie en régime transitoire est la valeur maximale du courant efficace que le convertisseur côté utilisation est capable de fournir pendant une période de courte durée spécifiée, après une période de fonctionnement à vide suffisamment longue. Sa valeur est fonction des conditions de fonctionnement de la charge, en particulier de sa fréquence.

Le courant commutable de sortie est le courant instantané maximal que le convertisseur côté utilisation est capable de commuter avec certitude sous des conditions spécifiées.

2.5 Definitions relating to rated values

Electrical, thermal, mechanical and environmental parameters at which the convertor shall operate correctly in accordance with conditions as guaranteed.

2.5.1 *Rated frequency*

In the case of line-fed convertors the rated frequency shall be given as that frequency range within which the line frequency may vary.

The nominal frequency of the supply line shall be given as a reference value, for example for use on marking plates.

In the case of load-side convertors the rated frequency shall be the frequency range of the load voltage.

The rated frequency of an intermediate convertor shall be specified as the frequency range of the intermediate a.c. voltage, as agreed upon between manufacturer and user.

2.5.2 *Rated voltage*

The rated voltage on the line side shall be specified as that range of the line voltage which is applied, under guaranteed operating conditions, at the input of the line-side convertor. For d.c. supply it is given as a mean value, for a.c. supply as an r.m.s. value.

The rated voltage on the load side shall be specified as that range within which the r.m.s. value of the voltage at the output terminals of the load-side convertor may vary at rated supply voltage and rated current.

The rated voltage of an intermediate convertor shall be specified as the voltage range of the intermediate convertor as agreed upon between manufacturer and user.

2.5.3 *Rated current*

The rated continuous current on the load side is the r.m.s. value of the maximum current which the load-side convertor is capable of carrying for an unlimited period of time. Its value depends on the operating condition of the load, in particular on the load frequency.

The rated short-time current on the load side is the r.m.s. value of the maximum current which the load-side convertor is capable of carrying for a specified short period of time starting after a sufficiently long no-load period. Its value depends on the operating condition of the load, in particular on the load frequency.

The commutable current on the load side is the maximum instantaneous current which the load-side convertor is, with certainty, capable of commutating under specified conditions.

Le courant assigné côté réseau en régime continu est le courant maximal que le convertisseur peut admettre en permanence à son entrée, pour la tension assignée d'alimentation délivrée par la source. Dans le cas d'une source de courant alternatif, c'est la valeur du courant efficace qui est spécifiée, et dans le cas d'une source de courant continu, la valeur moyenne du courant.

Le courant assigné, côté réseau, en régime transitoire est le courant d'alimentation que le convertisseur admet à son entrée pour la tension assignée d'alimentation délivrée par la source pendant une courte période de durée spécifiée, après une période à vide suffisamment longue.

NOTE - Si des valeurs de courant doivent être spécifiées sur une interface intermédiaire, un accord est conclu à cet effet entre le constructeur et l'exploitant.

2.5.4 Puissance assignée

La puissance active assignée d'un convertisseur en régime continu est la puissance active maximale que le convertisseur est capable de fournir en régime continu, dans des conditions spécifiées de fonctionnement (par exemple courant, tension, fréquence, etc.). Sa valeur est fonction des conditions de fonctionnement, en particulier de la charge.

La puissance apparente assignée d'un convertisseur en régime continu est la puissance apparente maximale que le convertisseur est capable de fournir en régime continu.

La puissance active assignée d'un convertisseur en régime transitoire est la puissance active maximale que le convertisseur est capable de fournir pendant une courte période de durée spécifiée, après une période à vide suffisamment longue.

La puissance apparente assignée d'un convertisseur en régime transitoire est la puissance apparente maximale que le convertisseur est capable de fournir pendant une courte période de durée spécifiée, après une période à vide suffisamment longue.

La puissance active assignée côté réseau d'un convertisseur côté réseau en régime continu est la puissance active maximale que le convertisseur est capable de prélever à la source en régime continu.

La puissance apparente assignée d'un convertisseur côté réseau en régime continu est la puissance apparente maximale que le convertisseur est capable de prélever à la source en régime continu.

La puissance active assignée côté réseau en régime transitoire est la puissance active maximale que le convertisseur côté réseau est capable de prélever à la source, pendant une courte période de durée spécifiée, après une période à vide suffisamment longue.

La puissance apparente assignée côté réseau en régime transitoire est la puissance active maximale que le convertisseur côté réseau est capable de prélever à la source, pendant une courte période de durée spécifiée, après une période à vide suffisamment longue.

NOTE - En mode de freinage, les mêmes définitions sont applicables mais avec une circulation d'énergie de sens opposé.

The rated continuous current on the line side is the maximum current which the convertor is capable of taking continuously, at rated supply voltage, from the supply. For a.c. supply the r.m.s. value shall be specified, for d.c. supply the mean value.

The rated short-time current on the line-side is the supply current which the convertor is capable of taking, at rated voltage, from the supply for a specified short period of time starting after a sufficiently long no-load period.

NOTE - Where intermediate link current values have to be specified, this should be the subject of agreement between manufacturer and user.

2.5.4 Rated power

The rated continuous active power of a convertor is the maximum active power which the convertor is capable of carrying continuously under specified operating conditions (e.g. rated current, voltage, frequency etc.). Its value depends on the operating conditions, in particular on the load.

The rated continuous apparent power of a convertor is the maximum apparent power which the convertor is capable of carrying continuously.

The rated short-time active power of a convertor is the maximum active power which the convertor is capable of carrying for a specified short period of time starting after a sufficiently long no-load period.

The rated short-time apparent power of a convertor is the maximum apparent power which the convertor is capable of carrying for a specified short period of time starting after a sufficiently long no-load period.

The rated continuous active power on the line side of a line-side convertor is the maximum active power which the convertor is capable of taking continuously from the supply.

The rated continuous apparent power of a line side convertor is the maximum apparent power which the convertor is capable of taking continuously from the supply.

The rated short-time active power on the line side is the maximum active power which the line-side convertor is capable of taking from the supply for a specified short period of time starting after a sufficiently long no-load period.

The rated short-time apparent power on the line side is the maximum apparent power which the line-side convertor is capable of taking from the supply for a specified short period of time starting after a sufficiently long no-load period.

NOTE - In the braking mode the same definitions apply, but in the opposite direction of energy flow.

2.6 Autres définitions

2.6.1 Courbe de la charge en fonction du temps (profil de charge)

La courbe de la charge en fonction du temps (profil de charge) est représentée par un graphique montrant la tension de sortie, l'intensité de sortie, la fréquence de sortie et la puissance active de sortie en fonction du temps.

Le freinage par récupération doit être pris en compte. Le profil de charge peut être cyclique.

2.6.2 Rendement

Rapport de la puissance active de sortie à la puissance active d'entrée.

NOTES

1 Pour les deux puissances, la puissance totale donnée par la formule ci-dessous doit être prise en compte:

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

où:

T est la période de l'ondulation résiduelle de l'ordre le plus bas du produit $u \cdot i$

u est la tension d'entrée ou de sortie instantanée

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

2 Dans le cas du fonctionnement en freinage, le sens de circulation de l'énergie étant inversé, le rendement est le rapport de la puissance active d'entrée à la puissance active de sortie.

3 Le rendement est déterminé soit en mesurant la puissance par un wattmètre du côté courant alternatif ou du côté courant continu (à l'entrée et à la sortie du convertisseur) (méthode directe) ou par un calcul, dans lequel il faut tenir compte des pertes du convertisseur (méthode de la sommation des pertes).

2.6.3 Grandeurs du côté alternatif

2.6.3.1 Facteur de puissance λ

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

2.6.3.2 Facteur de déphasage $\cos \varphi$, facteur de puissance des ondes fondamentales

$$\cos \varphi = \frac{\text{Puissance active des ondes fondamentales}}{\text{Puissance apparente des ondes fondamentales}}$$

2.6 Other definitions

2.6.1 Load-time diagram (load profile)

The load-time diagram (load profile) is illustrated by means of a diagram which shows the output voltage, output current, output frequency and output active power as a function of time.

Regenerative braking has to be taken into account. The load-profile may be cyclic.

2.6.2 Power efficiency

The ratio of active output power and active input power.

NOTES

- 1 Both powers are to be taken as the total power as given by the formula:

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

where:

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

u is the instantaneous input or output voltage

i is the instantaneous input or output current

- 2 In the case of braking operation, the direction of energy flow is reversed. In this case, owing to the terminology used, power efficiency is the ratio of active power at the input to active power at the output.

- 3 Power efficiency is determined either by measurement of power values by means of a wattmeter on the a.c. or d.c. side (at the converter input and output) (direct method) or by calculation, whereby converter losses have to be taken into account (loss summation method).

2.6.3 Quantities on the a.c. side

2.6.3.1 Power factor λ

$$\lambda = \frac{\text{Active power}}{\text{Apparent power}}$$

2.6.3.2 Displacement factor $\cos \varphi$, power factor of the fundamental wave

$$\cos \varphi = \frac{\text{Active power of the fundamental wave}}{\text{Apparent power of the fundamental wave}}$$

2.6.3.3 *Facteur de forme*

$$\eta = \frac{\lambda}{\cos \phi}$$

2.6.3.4 *Résidu harmonique*

Fonction obtenue en retranchant la composante fondamentale de la fonction périodique du courant (ou de la tension).

2.6.3.5 *Résidu harmonique relatif*

Rapport de la valeur efficace du résidu harmonique à la valeur efficace de la grandeur alternative.

2.6.4 *Grandeurs du côté continu*

2.6.4.1 *Ondulation*

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

2.6.4.2 *Composantes de l'ondulation*

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

2.6.4.3 *Teneur relative en composantes alternatives*

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

2.6.4.4 *Ondulation crête à crête relative*

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

2.6.4.5 *Taux d'ondulation d'un courant continu*

Rapport de la demi-différence entre les valeurs maximale et minimale à la valeur moyenne d'un courant continu pulsatoire [VEI 551-06-30].

NOTE - Pour les faibles valeurs du taux d'ondulation d'un courant continu, cette grandeur est approximativement égale au rapport de la différence à la somme des valeurs maximale et minimale.

2.6.4.6 *Facteur de forme en courant continu*

Rapport de la valeur efficace à la valeur moyenne, évalué sur une période complète, d'une tension ou d'un courant périodique ayant une composante continue [VEI 551-06-29].

2.6.3.3 *Deformation*

$$\eta = \frac{\lambda}{\cos \phi}$$

2.6.3.4 *Harmonic content*

The function obtained by subtracting the fundamental component from the periodic time function of the current (or voltage).

2.6.3.5 *Relative harmonic content*

The ratio of the r.m.s. value of the harmonic content to the r.m.s. value of the alternating quantity.

2.6.4 *Quantities on the d.c. side*

2.6.4.1 *Ripple*

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

2.6.4.2 *Ripple components*

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

2.6.4.3 *Relative ripple content*

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

2.6.4.4 *Relative peak-to-peak ripple factor*

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

2.6.4.5 *D.C. ripple factor*

The ratio of half the difference between the maximum and minimum values to the mean value of a pulsating direct current [IEV 551-06-30].

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

2.6.4.6 *D.C. form factor*

The ratio of the r.m.s. value to the mean value averaged over a full period of a periodically varying quantity having a d.c. component [IEV 551-06-29].

SECTION 3: CARACTÉRISTIQUES

3.1 Caractéristiques

3.1.1 *Grandeurs mécaniques et pertes électriques supplémentaires*

Les grandeurs mécaniques des moteurs de traction sont traitées par la CEI 349.

En outre, des effets supplémentaires peuvent se produire lorsque les moteurs de traction sont alimentés par un convertisseur, par exemple:

Les pulsations de couple sont caractérisées par la fréquence et l'amplitude relative des composantes alternatives de couple superposées, en raison de l'alimentation par un convertisseur, au couple constant du moteur. Les pulsations de couple des points caractéristiques de fonctionnement doivent être spécifiées dans le cadre d'un accord entre le constructeur et l'exploitant.

En cas d'alimentation des moteurs de traction par un convertisseur, des pertes supplémentaires se produisent en raison des harmoniques de courant et de tension. Ces pertes supplémentaires doivent être spécifiées dans le cadre d'un accord entre le ou les constructeurs et l'exploitant.

3.1.2 *Interférences*

Le courant d'entrée des véhicules à convertisseur peut comporter des harmoniques superposées provoquées soit par les harmoniques de la tension d'alimentation, soit par le fonctionnement des équipements du véhicule. Les harmoniques peuvent perturber les réseaux d'alimentation, de télécommunications et de signalisation.

3.1.2.1 *Interférence avec le réseau d'alimentation*

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

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

3.1.2.2 *Interférence avec les réseaux de radiocommunications et de télécommunications*

Les véhicules électriques à convertisseur peuvent causer des perturbations dans les réseaux de radiocommunications et de télécommunications. Quand cela est possible, les recommandations du CISPR et du CCITT sur la protection des réseaux de radiocommunications et de télécommunications contre les interférences doivent être prises en référence. Dans le cas contraire, les définitions et les valeurs limites sont fixées par accord entre le constructeur et l'exploitant.

NOTE - Si une interférence est détectée, des mesures appropriées sont décidées d'un commun accord entre le constructeur, l'entrepreneur général, l'exploitant du véhicule et l'exploitant du réseau de télécommunications.

SECTION 3: CHARACTERISTICS

3.1 Characteristics

3.1.1 *Mechanical values and additional electric losses*

The mechanical values of traction motors are dealt with in IEC 349.

However, additional influences may result when traction motors are fed by a convertor, for example:

Torque pulsations are characterized by the frequency and relative amplitude of alternating torque components which are superimposed, as a result of convertor supply, on the constant motor torque. Torque pulsations for characteristic operating points shall be specified subject to agreement between manufacturer and user.

When traction motors are fed by convertors, additional losses due to current and voltage harmonics occur. These additional losses shall be specified subject to agreement between manufacturer(s) and user for characteristic operating points.

3.1.2 *Interference*

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

3.1.2.1 *Interference to the supply system*

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

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

3.1.2.2 *Interference to radio and telecommunication systems*

Convertor electric vehicles may cause disturbance to radio and telecommunication systems. Where possible, the CISPR and CCITT recommendations on protection of radio networks and telecommunication lines against interferences shall be used as reference. If not applicable, definitions and limiting values shall be agreed upon between user and manufacturer.

NOTE - Should an interference be detected, appropriate measures should be decided upon by agreement between the manufacturer, the main contractor, the user of the vehicle and the user of the telecommunication systems.

3.1.2.3 Interférence avec le réseau de signalisation

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

- a) En plus de la caractéristique, objet de 3.1.2.1, l'exploitant peut spécifier une valeur maximale du courant susceptible d'apparaître à l'entrée du véhicule, dû aux harmoniques provenant de la ligne d'alimentation et correspondant aux fréquences utilisées pour la signalisation. Le constructeur doit en tenir compte de façon que le courant d'interférence totale (c'est-à-dire résultant de la superposition des interférences dues à la ligne et au véhicule en tenant compte de la caractéristique de filtrage du matériel de signalisation) ne dépasse jamais le niveau spécifié en 3.1.2.1.
- b) En plus de la caractéristique, objet de 3.1.2.1, l'exploitant peut spécifier pour le véhicule une valeur minimale d'impédance additionnelle correspondant aux fréquences utilisées pour la signalisation.

3.1.3 Caractéristiques de sortie des convertisseurs

Si le convertisseur et la charge sont fournis par différents fabricants, les caractéristiques suivantes doivent être données:

- a) Par le constructeur de la charge:

les caractéristiques détaillées de la charge (par exemple tension ou f.é.m., courant, impédance en fonction de la fréquence ou de la vitesse, diagramme de charge en fonction du temps, etc.) contenant toutes les informations nécessaires à l'évaluation de l'interaction spécifique entre la charge et le convertisseur.

- b) Par le constructeur du convertisseur.

les grandeurs de sortie du convertisseur doivent être définies par une spécification particulière, précisant les valeurs assignées.

- de la puissance,
- de la tension,
- de la fréquence,
- du courant,
- des harmoniques,
- et leurs variations.

Les valeurs en régime continu, ainsi que les valeurs maximales (si celles-ci sont différentes des valeurs en régime continu) correspondant à une durée définie, sont également définies.

Si le convertisseur comporte des modes de fonctionnement autres que celui défini par les valeurs assignées précédentes, la spécification particulière doit préciser les valeurs assignées correspondant à ces modes: puissance, tension, courant, fréquence, ainsi que les durées correspondantes.

Les caractéristiques de fonctionnement en court-circuit et en circuit ouvert (courant de court-circuit, tension à vide) doivent être définies par un accord entre le constructeur et l'exploitant.

3.1.2.3 *Interference with the signalling system*

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

- a) In addition to the curve as specified in 3.1.2.1, the user may specify the maximum current appearing on the input of the vehicle due to superimposed a.c. harmonics from the overhead supply line at the signalling frequencies. The manufacturer shall take this into account so that the total interference current (i.e. the superposition of interference from the line and the vehicle, taking into account the filter characteristic of the signalling equipment) will never be above the level as specified in 3.1.2.1.
- b) In addition to the curve as specified in 3.1.2.1, the user may specify an additional minimum impedance requirement for the vehicle at the signalling frequencies.

3.1.3 *Output characteristics of the convertor*

In case the convertor and the load are supplied by different manufacturers the following characteristics shall be provided:

- a) By the manufacturer of the load:

a detailed specification of the load (e.g. voltage or e.m.f., current, impedance, as a function of frequency or speed, load time diagram etc.) containing all information necessary to evaluate the proper interaction between load and convertor.

- b) By the manufacturer of the convertor:

the output quantities of the convertor shall be defined by a particular specification, which specifies the rated values:

- power,
- voltage,
- frequency,
- current,
- harmonics,
- and their variations.

The continuous values and the maximum values (if different from the continuous values) for a specified time shall also be defined.

If the convertor has operating modes different from that defined by the rated values above, the particular specification shall define the rated values of these modes: power, voltage current, frequency as well as the corresponding durations.

The operating characteristics on short circuit and on open circuit (short-circuit current, no-load voltage) shall be defined by agreement between manufacturer and user.

3.1.4 Protection contre les courants de court-circuit

Le constructeur doit indiquer le type et la méthode de fonctionnement du dispositif de protection éventuel contre les courants de court-circuit.

3.1.5 Protection contre les surtensions

L'exploitant doit spécifier si les dispositifs de protection utilisés doivent ou non être réarmables.

3.1.6 Emission de bruit acoustique

Le bruit acoustique émis par le convertisseur, dans les conditions de fonctionnement spécifiées (le convertisseur étant situé à l'extérieur du véhicule), ne doit pas dépasser le niveau prévu par accord entre l'exploitant et le constructeur.

A défaut d'accord, le niveau de pression sonore mesuré dans les conditions spécifiées en 4.2.10 ne doit pas dépasser 80 dB (A).

NOTE - Il est nécessaire de tenir compte du fait qu'après le montage du convertisseur sur le véhicule, le niveau de bruit émis est fonction de son emplacement.

3.1.7 Température des parois

La température de toutes les parois du convertisseur normalement accessibles sans démontage, dans les conditions de ventilation spécifiées (circulation d'air éventuelle), ne doit dépasser 60 °C, sauf indication contraire prévue dans l'accord entre l'exploitant et le constructeur.

Si les conditions d'installation sont telles que la température de l'air de refroidissement est susceptible de provoquer un certain inconfort, un accord spécifiant la température maximale admissible doit être conclu entre l'exploitant et le constructeur.

3.1.8 Rendement

Le rendement est précisé dans la spécification particulière pour le point de fonctionnement défini par les caractéristiques assignées de sortie et pour les conditions assignées d'alimentation (voir 1.3.1.6).

SECTION 4: ESSAIS

4.1 Généralités

Il est recommandé de limiter l'exécution des essais coûteux à ceux qui sont nécessaires.

La présente norme est conçue de telle façon que la plupart des essais puissent normalement être effectués dans les ateliers du constructeur (voir 4.2).

3.1.4 *Short-circuit current protection*

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

3.1.5 *Overvoltage protection*

The user shall state whether the protective devices, if any, shall be resettable or not.

3.1.6 *Acoustic noise emission*

The acoustic noise emitted by the convertor in the specified operating conditions (the convertor being outside the vehicle), shall not exceed the level determined by agreement between the user and the manufacturer.

In the absence of agreement, the sound pressure level, measured in the conditions specified in 4.2.10, shall not exceed 80 dB (A).

NOTE - It is necessary to take into account the fact that, after assembly of the convertor on the vehicle, the emitted noise level will depend upon its location.

3.1.7 *Temperature of surfaces*

The temperature of all convertor surfaces normally accessible without any dismantling, in the specified cooling conditions (air flow, if any) shall not exceed 60 °C, if not otherwise specified by agreement between user and manufacturer.

If the installation conditions are such that the temperature of the cooling air is liable to cause some discomfort, an agreement between the user and the manufacturer shall specify the admissible maximum temperature.

3.1.8 *Efficiency*

The efficiency is defined by the particular specification for the operating point specified by the rated output characteristics and for the rated supply conditions (see 1.3.1.6).

SECTION 4: TESTS

4.1 **General**

It is recommended to confine the performance of expensive tests to those which are necessary.

This standard is so constructed that most of the tests can normally be carried out in the manufacturer's workshops (see 4.2).

En cas d'impossibilité, selon des modalités définies par accord entre l'exploitant et le constructeur, les essais peuvent être effectués dans un laboratoire spécialisé ou sur un véhicule (voir 4.3).

4.1.1 *Catégories d'essais*

Il existe trois catégories d'essais:

- a) les essais de types;
- b) les essais de série;
- c) les essais d'investigation.

4.1.1.1 *Essais de type*

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

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

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

Sous réserve d'accord préalable entre l'exploitant et le constructeur, certains de ces essais ou tous ces essais peuvent être répétés périodiquement sur des diodes, des thyristors ou des blocs de thyristors 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 à la commande.

4.1.1.2 *Essais de série*

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

Les comptes rendus des essais exécutés en cours de fabrication peuvent toutefois être reconnus comme valides par l'exploitant, qui peut alors contrôler par échantillonnage les résultats de ces essais, sans avoir à les refaire sur chaque élément.

L'exécution des essais de série facultatifs n'est exigible que si elle est spécialement spécifiée à la commande.

4.1.1.3 *Essais d'investigation*

Les essais d'investigation, qui ont pour but de donner des renseignements complémentaires sur les modalités d'utilisation du convertisseur, doivent faire l'objet d'un accord préalable entre l'exploitant et le constructeur. L'exécution de ces essais n'est exigible que si elle est expressément spécifiée à la commande.

In the event that this is impossible, according to defined methods by agreement between the user and the manufacturer, the tests can be carried out in a special laboratory or on a vehicle (see 4.3).

4.1.1 *Categories of tests*

There are three categories of tests:

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

4.1.1.1 *Type tests*

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

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

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

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

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

4.1.1.2 *Routine tests*

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

The reports of tests performed during the manufacturing process may be recognized as valid by the user. The user may then check by random sampling the results of these tests without having to repeat them on every unit.

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

4.1.1.3 *Investigation tests*

Investigation tests, the object of which is to obtain additional information on methods of using the convertor, are subject to previous agreement between user and manufacturer. The performance of these tests is only required if they are expressly specified in the contract.

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

4.2 Essais sur les blocs convertisseurs

Les essais de type et de série sur les blocs convertisseurs sont effectués conformément aux paragraphes indiqués au tableau 5.

Sauf indication contraire, tous les essais sont effectués à la température ambiante de l'atelier ou du véhicule.

Les composants individuels et les blocs doivent, si nécessaire, être soumis à un essai de série avant montage dans un convertisseur.

Tableau 5 – Essais des blocs convertisseurs

Nature de l'essai	Paragraphe	Essai de type	Essai de série
Essai de tenue aux vibrations et aux chocs	4.2.1	X	
Essai du circuit de refroidissement	4.2.2	X	
Essai des dispositifs de protection et de mesure	4.2.3	X	X
Essai du dispositif d'allumage	4.2.4	X	X
Essai d'isolement	4.2.5	X	X
Essai à charge réduite (y compris essai de commutation)	4.2.6	X	X
Essai en charge au courant assigné	4.2.7	X	
Essai d'échauffement	4.2.8	X	
Détermination des pertes de puissance	4.2.9	X	
Mesure du bruit acoustique	4.2.10	X	
Essai d'étanchéité	4.2.11	X	
Masse	4.2.12	X (facultatif)	
Examen visuel	4.2.13	X	X
Dimensions et tolérances	4.2.14	X	X

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

4.2 Tests on convertor assemblies

Type tests and routine tests on convertor assemblies shall be carried out in accordance with the subclauses as given in table 5.

All tests shall be carried out, unless otherwise specified, at the ambient temperature of the workshop or vehicle.

Individual components and assemblies shall, if necessary, be subjected to a routine test before assembly into a convertor.

Table 5 – Tests on convertor assemblies

Nature of test	Subclause	Type test	Routine test
Tests for withstanding vibrations and shocks	4.2.1	X	
Cooling system test	4.2.2	X	
Tests on protection and measuring devices	4.2.3	X	X
Trigger equipment test	4.2.4	X	X
Insulation test	4.2.5	X	X
Light load test (including commutation test)	4.2.6	X	X
Rated current load test	4.2.7	X	
Temperature rise test	4.2.8	X	
Power loss determination	4.2.9	X	
Acoustic noise measurement	4.2.10	X	
Sealing test	4.2.11	X	
Weight	4.2.12	X (optional)	
Visual inspection	4.2.13	X	X
Dimensions and tolerances	4.2.14	X	X

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

Le bloc convertisseur complet ou l'un de ses sous-ensembles muni de ses auxiliaires et de ses accessoires de montage (y compris ses dispositifs amortisseurs, si le convertisseur est prévu pour être monté sur de tels dispositifs) doit être soumis aux essais de 4.2.1.1 à 4.2.1.3 ci-après. Les modalités de ces essais sont applicables dans l'attente de l'établissement d'un texte par le Comité d'Etudes approprié.

Lorsque la masse ou la conception du convertisseur ne permet pas les essais de vibrations ou que la conception du matériel rend impossible le contrôle complet du bloc, les essais devront être réalisés sur certains sous-ensembles du convertisseur, selon accord entre l'exploitant et le constructeur.

Pour les essais en 4.2.1.1 et 4.2.1.2, l'équipement en essai est fixé dans une position convenable sur une machine produisant des vibrations sinusoïdales d'amplitude et de fréquence réglables. Sous réserve d'un accord entre l'exploitant et le constructeur, l'essai aux fréquences inférieures à 3 Hz peut être omis.

4.2.1.1 *Détermination 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 en 1.3.1.4 et cela dans un temps au moins égal à 4 min, l'amplitude des oscillations étant celle qui est indiquée en fonction de la fréquence.

4.2.1.2 *Essais de vibrations soutenues*

L'équipement en essai est ensuite soumis, pendant un temps à fixer par accord entre l'exploitant et le 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 en 4.2.1.1;
- soit à la fréquence de 10 Hz, dans le cas contraire.

Dans les deux cas, l'amplitude de la table vibrante est réglée à la valeur correspondant à la fréquence considérée (voir 1.3.1.4).

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

4.2.1.3 *Essais simulant l'effet des coups de tampon*

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

4.2.1.4 *Résultats des essais*

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

4.2.1 Tests for withstanding vibrations and shocks (type tests)

The complete convertor assembly or one of its subassemblies together with its mounting arrangements and auxiliaries (including shock absorbing devices, if the convertor is designed for mounting on such devices) shall be subjected to the tests of 4.2.1.1 to 4.2.1.3 below; the methods for these tests are applicable pending drawing up of a document by the appropriate Technical Committee.

Where the mass or design of the convertor do not permit vibration tests or if the design of the equipment precludes full inspection of the subassembly, the tests shall be carried out on certain convertor subassemblies, as agreed between the user and the manufacturer.

For the tests of 4.2.1.1 and 4.2.1.2, the equipment under test shall be secured in a suitable position to a machine producing vibrations of sinusoidal form with adjustable amplitude and frequency. The test at frequencies lower than 3 Hz may be omitted on agreement between user and manufacturer.

4.2.1.1 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 1.3.1.4 within a time of not less than 4 min, the amplitude of the oscillations being that indicated as a function of the frequency.

4.2.1.2 Tests with forced vibrations

The equipment under test is next subjected to a test with forced vibrations for a time not less than 15 min, to be agreed upon between user and the manufacturer:

- either at the critical frequency, if such a well-defined frequency has been detected in the course of the test of 4.2.1.1;
- otherwise at a frequency of 10 Hz.

In both cases, the amplitude of the vibrating table is adjusted to the value corresponding to the frequency concerned (see 1.3.1.4).

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

4.2.1.3 Tests to simulate the effect of shunting shocks

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

4.2.1.4 Results of tests

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