

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 84 A

Première édition — First edition

1966

Complément à la Publication 84 (1957)

Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure

Onduleurs à vapeur de mercure

Supplement to Publication 84 (1957)

Recommendations for mercury-arc convertors

Mercury-arc inverters



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 84 A

Première édition — First edition

1966

Complément à la Publication 84 (1957)

Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure

Onduleurs à vapeur de mercure

Supplement to Publication 84 (1957)

Recommendations for mercury-arc convertors

Mercury-arc inverters



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Prix Fr. s. 25.—
Price S. Fr.

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1-100 <i>Généralités</i>	6
1-105 <i>Domaine d'application de ces recommandations</i>	6
1-115 <i>Termes généraux</i>	8
1-130 <i>Définitions supplémentaires</i>	8
1-135 <i>Régimes nominaux</i>	12
1-150 <i>Circuit et principe de fonctionnement d'un onduleur</i>	12
1-160 <i>Variation de tension</i>	18
1-185 <i>Liste des principaux symboles littéraux</i>	20
1-200 <i>Soupapes</i>	24
1-250 <i>Essais</i>	24
1-260 <i>Pertes dans la soupape</i>	26
1-290 <i>Plaque signalétique</i>	26
1-300 <i>Transformateur et bobines d'inductance</i>	28
1-310 <i>Généralités</i>	28
1-360 <i>Plaque signalétique</i>	28
1-400 <i>Onduleur</i>	30
1-410 <i>Classes de régime nominal</i>	30
1-430 <i>Facteurs de puissance</i>	30
1-440 <i>Variations propre et totale de tension</i>	32
1-450 <i>Harmoniques et questions connexes</i>	34
1-460 <i>Conditions de service spéciales</i>	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1-100 <i>General</i>	7
1-105 Scope of these Recommendations	7
1-115 General terms	9
1-130 Additional definitions	9
1-135 Ratings	13
1-150 Circuit and mode of operation of an inverter	13
1-160 Voltage regulation	19
1-185 List of principal letter symbols	21
1-200 <i>Valves</i>	25
1-250 Tests	25
1-260 Valve losses	27
1-290 Rating plate	27
1-300 <i>Transformer and reactors</i>	29
1-310 General	29
1-360 Rating plate	29
1-400 <i>Inverter</i>	31
1-410 Rating classifications	31
1-430 Power-factors	31
1-440 Inherent and total voltage regulation	33
1-450 Harmonics and associated effects	35
1-460 Special operating conditions	35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPLÉMENT A LA PUBLICATION 84 (1957)

RECOMMANDATIONS POUR LES CONVERTISSEURS A VAPEUR DE MERCURE

ONDULEURS A VAPEUR DE MERCURE

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

Les présentes recommandations ont été établies par le Sous-Comité 22A: Convertisseurs à vapeur de mercure, du Comité d'Etudes N° 22 de la CEI: Convertisseurs statiques de puissance.

Elles constituent le premier complément à la Publication 84 de la CEI: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure.

Elles contiennent les articles se rapportant aux onduleurs à vapeur de mercure.

Un premier projet fut discuté lors des réunions tenues à Belgrade en 1960, à Londres en 1960 et à Interlaken en 1961. A la suite de cette dernière réunion, un nouveau projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en décembre 1962.

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

Afrique du Sud	Norvège
Allemagne	Pays-Bas
Autriche	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Yougoslavie
Japon	

Les observations présentées par l'Allemagne, les Etats-Unis d'Amérique, la France, le Royaume-Uni et la Tchécoslovaquie ont été prises en considération par le Secrétariat du Sous-Comité 22A, pour autant qu'elles ne changent pas le sens du texte approuvé par le Sous-Comité 22A. Les autres observations, ainsi que celles présentées par la Suède, seront examinées à l'occasion de la première révision des présentes recommandations qui sera nécessaire à l'occasion de la première révision de la Publication 84 de la CEI.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPPLEMENT TO PUBLICATION 84 (1957)

RECOMMENDATIONS FOR MERCURY-ARC CONVERTORS

MERCURY - ARC INVERTERS

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

These Recommendations were prepared by Sub-Committee 22A, Mercury-arc Convertors, of IEC Technical Committee No. 22, Static Power Convertors.

They form the first supplement to IEC Publication 84, Recommendations for Mercury-arc Convertors. They give the clauses concerning mercury-arc inverters.

A first draft was discussed at the meetings held in Belgrade in 1960, in London in 1960, and in Inter-laken in 1961. As a result of this latter meeting, a revised draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in December 1962.

The following countries voted explicitly in favour of publication of this Supplement:

Austria	Norway
Belgium	Romania
Czechoslovakia	South Africa
Denmark	Switzerland
France	United Kingdom
Germany	United States of America
Japan	Yugoslavia
Netherlands	

The comments submitted by Czechoslovakia, France, Germany, the United Kingdom and the United States of America have been taken into consideration by the Secretariat of Sub-Committee 22A in so far as they do not change the meaning of the text approved by Sub-Committee 22A. The remaining comments, as well as those submitted by Sweden, will be considered on the occasion of the first revision of these Recommendations, which will be necessary on the occasion of the first revision of IEC Publication 84.

COMPLÉMENT A LA PUBLICATION 84 (1957)

RECOMMANDATIONS POUR LES CONVERTISSEURS A VAPEUR DE MERCURE

ONDULEURS A VAPEUR DE MERCURE

1-100

GÉNÉRALITÉS

1-105 Domaine d'application de ces recommandations

- 1-105-1 Les présentes recommandations s'appliquent aux convertisseurs à vapeur de mercure qui fournissent de la puissance à un réseau à courant alternatif contenant une ou plusieurs machines synchrones qui sont la source principale de la force électromotrice de commutation. Dans ces recommandations, ce type de convertisseur est dénommé «onduleur».
- 1-105-2 Pour le moment, ces recommandations ne s'appliquent qu'aux onduleurs dont la puissance nominale totale est d'au moins 50 kW, le courant continu nominal d'au moins 10 A et dont la tension continue nominale ne dépasse pas 5 000 V.

1-106 Notes

- 1-106-1 Les articles de la Publication 84 de la CEI: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure, sont valables aussi pour les onduleurs à vapeur de mercure, pour autant qu'ils ne sont pas modifiés par les articles des présentes recommandations.
- 1-106-2 Les numéros des articles des présentes recommandations sont ceux des articles correspondants de la Publication 84 de la CEI augmentés par adjonction du chiffre 1..... avant le numéro de l'article correspondant de la Publication 84 de la CEI.
- 1-106-3 Les articles ou paragraphes suivants correspondent à des articles ou paragraphes existants de la Publication 84 de la CEI, dont le texte a toutefois été modifié en vue de son application aux onduleurs:

1-100; 1-105; 1-105-1; 1-105-2; 1-115; 1-130; 1-131-3; 1-135; 1-135-2; 1-150; 1-152; 1-152-1; 1-152-4; 1-160; 1-185; 1-185-1; 1-185-2; 1-200; 1-250; 1-254; 1-254-1; 1-260; 1-263; 1-290; 1-300; 1-310; 1-360; 1-400; 1-410; 1-430; 1-431; 1-431-2; 1-431-3; 1-440; 1-450; 1-451; 1-451-4; 1-451-5; 1-451-64.

Les articles ou paragraphes supplémentaires suivants sont indépendants des articles ou paragraphes existants de la Publication 84 de la CEI et ne s'appliquent qu'aux onduleurs:

1-106; 1-106-1; 1-106-2; 1-106-3; 1-115-6; 1-115-7; 1-115-8; 1-115-9; 1-115-10; 1-115-11; 1-131-8; 1-131-9; 1-132-0; 1-132-1; 1-132-2; 1-132-3; 1-132-4; 1-132-5; 1-132-6; 1-132-7; 1-152-5; 1-152-6; 1-153; 1-153-1; 1-153-2; 1-154; 1-154-1; 1-154-2; 1-154-3; 1-160-5; 1-160-6; 1-160-7; 1-160-8; 1-160-9; 1-185-3; 1-254-2; 1-254-3; 1-254-4; 1-254-5; 1-254-6; 1-254-7; 1-293-1; 1-293-2; 1-313; 1-362-7; 1-431-23; 1-432; 1-432-1; 1-432-2; 1-460; 1-461; 1-461-1; 1-461-2; 1-462.

SUPPLEMENT TO PUBLICATION 84 (1957)
RECOMMENDATIONS FOR MERCURY-ARC CONVERTORS

MERCURY - ARC INVERTERS

1-100

GENERAL

1-105 Scope of these Recommendations

- 1-105-1 These Recommendations apply to mercury-arc convertors which supply power to an a.c. supply system containing one or more synchronous machines which are the main source of the commutating e.m.f.
In these Recommendations, this type of convertor is called "inverter".
- 1-105-2 For the present, these Recommendations apply only to inverters with total rated power of at least 50 kW, rated direct current of at least 10 A and rated d.c. voltage up to 5 000 V.

1-106 Notes

- 1-106-1 The clauses of IEC Publication 84, Recommendations for Mercury-arc Convertors, are also valid for mercury-arc inverters in so far as they are not altered by the clauses of these Recommendations.
- 1-106-2 The clause numbers of this Recommendation are the same as those of IEC Publication 84 with the addition of the number 1, ... in front of the corresponding clause number of IEC Publication 84.
- 1-106-3 The following Clauses or Sub-clauses correspond to existing Clauses or Sub-clauses in IEC Publication 84 with their texts, however, adapted for application to inverters:
- 1-100; 1-105; 1-105-1; 1-105-2; 1-115; 1-130; 1-131-3; 1-135; 1-135-2; 1-150; 1-152; 1-152-1; 1-152-4; 1-160; 1-185; 1-185-1; 1-185-2; 1-200; 1-250; 1-254; 1-254-1; 1-260; 1-263; 1-290; 1-300; 1-310; 1-360; 1-400; 1-410; 1-430; 1-431; 1-431-2; 1-431-3; 1-440; 1-450; 1-451; 1-451-4; 1-451-5; 1-451-64.

The following supplementary Clauses or Sub-clauses are independant of existing Clauses or Sub-clauses of IEC Publication 84 and apply only to inverters:

1-106; 1-106-1; 1-106-2; 1-106-3; 1-115-6; 1-115-7; 1-115-8; 1-115-9; 1-115-10; 1-115-11; 1-131-8; 1-131-9; 1-132-0; 1-132-1; 1-132-2; 1-132-3; 1-132-4; 1-132-5; 1-132-6; 1-132-7; 1-152-5; 1-152-6; 1-153; 1-153-1; 1-153-2; 1-154; 1-154-1; 1-154-2; 1-154-3; 1-160-5; 1-160-6; 1-160-7; 1-160-8; 1-160-9; 1-185-3; 1-254-2; 1-254-3; 1-254-4; 1-254-5; 1-254-6; 1-254-7; 1-293-1; 1-293-2; 1-313; 1-362-7; 1-431-23; 1-432; 1-432-1; 1-432-2; 1-460; 1-461; 1-461-1; 1-461-2; 1-462.

1-115 Termes généraux

- 1-115-6 *Onduleur à vapeur de mercure.* Convertisseur à vapeur de mercure servant à la conversion de puissance d'un réseau à courant continu vers un réseau à courant alternatif. Dans ces recommandations, ce convertisseur est désigné en abrégé par «onduleur».
- 1-115-7 *Onduleur à commutation par machine.* Onduleur dans lequel la force électromotrice de commutation est fournie principalement par une ou plusieurs machines tournantes synchrones à courant alternatif ou asynchrones à courant alternatif excitées par des condensateurs.
- 1-115-71 *Note.* — Ces machines tournantes à courant alternatif peuvent faire partie du réseau à courant alternatif existant alimenté par l'onduleur, ou bien former partie intégrante de l'installation de conversion.
- 1-115-72 *Note.* — En général, la puissance installée dans le réseau à courant alternatif est grande comparativement à la puissance nominale de l'onduleur, et la tension alternative ainsi que la fréquence sont imposées par le réseau. Si l'onduleur fournit la totalité ou une grande partie de la puissance du réseau à courant alternatif, la tension alternative et la fréquence peuvent être réglées ou influencées par l'installation de conversion.
- 1-115-8 *Onduleur à commutation par condensateur*.* Onduleur dans lequel la force électromotrice de commutation est fournie principalement par des condensateurs.
- 1-115-81 *Note.* — Ces condensateurs forment généralement partie intégrante du circuit de puissance de l'onduleur, mais ils peuvent aussi faire partie du circuit de charge à courant alternatif.
- 1-115-9 *Onduleur à commutation par condensateur, à fréquence imposée*.* Onduleur à commutation par condensateur dont la fréquence est maintenue à une valeur spécifiée au moyen d'une source de fréquence indépendante ou d'un régulateur approprié.
- 1-115-10 *Onduleur à commutation par condensateur, à fréquence élastique*.* Onduleur dont la fréquence est contrôlée par réaction de son circuit à courant alternatif.
- 1-115-11 * *Note.* — Bien que les onduleurs de ce type ne soient pas compris dans le domaine d'application des présentes recommandations, les articles appropriés de ces recommandations peuvent être utilisés pour ces onduleurs dans la mesure où ils leur sont applicables.

1-130 Définitions supplémentaires

- 1-131-3 *Angle d'avance β :* Intervalle de temps, exprimé en unités d'angle électrique, entre le point de départ de la commutation et le point d'intersection des deux demi-ondes négatives des deux phases de la tension anodique qui sont juste en train de commuter (voir figure 1-1 B à la page 13 a). β est ajusté par le réglage de phase et est relié à l'angle de retard α par la relation $\beta = 180^\circ - \alpha$.
- 1-131-8 *Marge de commutation γ (angle de marge):* Intervalle de temps, exprimé en unités d'angle électrique, entre la fin de la commutation et le point d'intersection des demi-ondes négatives des deux phases de la tension anodique qui viennent juste de commuter.
 γ dépend de l'angle d'avance β (paragraphe 1-131-3) et de l'angle d'empiètement u (voir Publication 84 de la CEI, paragraphe 152-3) et est déterminé par la relation: $\gamma = \beta - u$.

1-115 General terms

- 1-115-6 *Mercury-arc inverter*. Mercury-arc convertor for conversion of electrical power from d.c. to a.c. In these Recommendations, this term is abbreviated to “inverter”.
- 1-115-7 *Machine-commutated inverter*. An inverter in which the commutating e.m.f. is supplied essentially by one or more rotating synchronous a.c. machines or capacitor-excited asynchronous a.c. machines.
- 1-115-71 *Note*. — The rotating a.c. machinery may be part of an existing a.c. system fed by the inverter, or alternatively it may be an integral part of the conversion installation.
- 1-115-72 *Note*. — Generally, the power capacity of the a.c. network is large in comparison with the rating of the inverter, and the a.c. voltage and frequency are fixed by the network. If the inverter supplies the whole or a large part of the power of the a.c. network, the a.c. voltage and the frequency may be controlled or influenced by the conversion installation.
- 1-115-8 *Capacitor-commutated inverter**. An inverter in which the commutating e.m.f. is supplied essentially by capacitors.
- 1-115-81 *Note*. — These capacitors are usually an integral part of the inverter power circuit, but may be a part of the a.c. load circuit.
- 1-115-9 *Forced frequency capacitor-commutated inverter**. A capacitor-commutated inverter whose frequency is maintained at a specified value by means of an independent-frequency source or a suitable regulator.
- 1-115-10 *Elastic-frequency capacitor-commutated inverter**. An inverter whose frequency is influenced by feedback from its a.c. circuit.
- 1-115-11 * *Note*. — Although inverters of these types are not included within the scope of these Recommendations, the appropriate clauses of these Recommendations may be employed in so far as they are applicable.

1-130 Additional definitions

- 1-131-3 *Angle of advance β* : The time in electrical angular measure, by which the starting point of commutation leads the point of intersection between the negative half-waves of the two anode voltage phases which are just commutating (See Figure 1-1 B, page 13 a). β is adjusted by phase control and is related to the delay angle α by $\beta = 180^\circ - \alpha$.
- 1-131-8 *Margin of commutation γ (margin angle)*: The time in electrical angular measure from the termination of commutation to the point of intersection between the negative half-waves of the two anode voltage phases which have just commutated.
 γ depends from the angle of advance β (Sub-clause 1-131-3) and the angle of overlap u (see IEC Publication 84, Clause 152-3) and is determined by the relation: $\gamma = \beta - u$.

γ peut être calculé aussi au moyen de la formule:

$$\cos \gamma = \cos \beta + 2 \cdot \frac{d_x}{100}$$

où d_x = élévation inductive totale de la tension continue, exprimée en % de la tension continue idéale à vide U_{dio} (paragraphe 1-152-42).

- 1-131-81 *Note.* — Cet angle γ comprend la durée de rétablissement du contrôle (paragraphe 1-131-9) (avec une marge pour tenir compte des incertitudes de la désionisation) et tient compte également de conditions de transition spécifiées qui auraient pour effet de prolonger la commutation.
- 1-131-9 *Temps (angle) de rétablissement du contrôle d'une soupape:* Intervalle de temps exprimé en unités d'angle électrique pour la fréquence donnée, ou en secondes, nécessaire à la soupape pour regagner sa pleine capacité de contrôle et de blocage et mesuré à partir de la fin de son temps de conduction.
- 1-131-91 *Note.* — La durée de rétablissement du contrôle d'une soupape peut être représentée par une famille de courbes en fonction de facteurs tels que la température du mercure condensé, les courants et les tensions d'anode et de grille et le réglage du courant de grille.
- 1-132-0 *Blocage:* Suppression de la conduction au moyen de l'action de grilles, d'igniteurs, ou des deux, lorsqu'un potentiel positif est appliqué à l'anode principale par rapport à la cathode à la suite d'une période de non-conduction.
- 1-132-1 *Force électromotrice de commutation:* Différence de tension entre deux phases successives d'un même groupe commutant, qui provoque le transfert du courant de l'une à l'autre pendant la commutation.
- 1-132-2 *Rupture d'arc:* Rupture ou étranglement spontané de l'arc dans une soupape au cours d'un temps de conduction dû à des conditions anormales comme surcharge trop forte ou température trop basse de la soupape, ou à ces deux causes à la fois, et susceptible de produire des surtensions dangereuses dans le groupe convertisseur et, pendant le fonctionnement en onduleur, un décrochage (paragraphe 1-132-5).
- 1-132-3 *Raté d'allumage:* Défaut d'allumage de l'anode principale de la soupape au moment prévu pour l'allumage de cette anode.
- 1-132-31 *Note 1.* — Des variations insignifiantes causées par de petites asymétries des angles d'allumage du convertisseur sont exclues.
- 1-132-32 *Note 2.* — Pendant le fonctionnement en onduleur un raté d'allumage peut avoir pour effet un décrochage (paragraphe 1-132-5).
- 1-132-4 *Raté de commutation:* Défaut de commutation du courant dans le sens direct d'une phase en période de conduction vers la phase suivante.
- 1-132-41 *Note.* — Pendant le fonctionnement en onduleur un raté de commutation a pour effet un décrochage (paragraphe 1-132-5).

γ may also be calculated by the formula:

$$\cos \gamma = \cos \beta + 2 \cdot \frac{d_x}{100}$$

where d_x = total inductive d.c. voltage increase in per cent of the ideal no-load d.c. voltage U_{dio} (Sub-clause 1-152-42).

1-131-81 *Note.* — This angle γ includes provision for control recovery time (Sub-clause 1-131-9) (with a margin for the band of uncertainty in de-ionization) and specified transient conditions which would prolong the commutation.

1-131-9 *Control recovery time (angle) of a valve:* The time in electrical angular measure at the given frequency, or in seconds, required for the valve to regain its full control and blocking capacity, as measured from the end of its conducting period.

1-131-91 *Note.* — The control recovery time of a valve can be presented as a family of curves relating such factors as condensed mercury temperature, anode and grid currents, anode and grid voltages, and regulation of the grid current.

1-132-0 *Blocking:* The prevention of conduction by means of grid or ignitor action, or both, when a positive potential is applied to the main anode with respect to the cathode following a non-conducting period.

1-132-1 *Commutating electromotive force (e.m.f.):* The voltage difference between two successive phases of a commutation group, which causes the transfer of current between them during commutation.

1-132-2 *Arc chopping (quenching):* A spontaneous interruption or quenching of the arc within a valve arising from abnormal conditions such as heavy over-currents or too low a valve temperature, or the two together, which may result in dangerous over-voltages in the convertor equipment and, during inverter operation, in an arc-through (Sub-clause 1-132-5).

1-132-3 *Misfire:* The failure to ignite the main arc in a valve at the correct instant of time.

1-132-31 *Note 1.* — Minor variations arising from slight asymmetry in the convertor commutation delay angles are excepted.

1-132-32 *Note 2.* — In inverter operation, a misfire may result in an arc-through (Sub-clause 1-132-5).

1-132-4 *Commutation failure:* A failure to commute the direct current from the conducting phase to the succeeding phase.

1-132-41 *Note.* — In inverter operation, a commutation failure results in an arc-through (Sub-clause 1-132-5).

1-132-5 *Décrochage*: Défaillance de blocage d'une anode de soupape pendant le fonctionnement en onduleur à la fin du temps prévu de conduction, permettant le passage du courant utile dans le sens de conduction pendant le temps prévu de blocage de la soupape.

1-132-51 *Note*. — Un décrochage peut résulter de:

- Marge de commutation insuffisante (paragraphe 1-131-8 et 1-152-5).
- Rupture d'arc (paragraphe 1-132-2).
- Raté d'allumage (paragraphe 1-132-3).
- Raté de commutation (paragraphe 1-132-4).
- Défauts dans la tension du réseau à courant continu ou à courant alternatif (paragraphe 1-461-1).

1-132-6 *Raté de blocage*: Perte brusque de la capacité de blocage d'une anode de soupape au cours du temps prévu de blocage permettant le passage du courant utile dans le sens normal de conduction pendant une partie de ce temps.

1-132-61 *Note*. — Un raté de blocage peut résulter de raisons diverses, par exemple:

- Température excessive de la soupape.
- Surtensions inadmissibles.
- Défaut de blocage des grilles.

1-132-7 *Retour d'arc*: Production fortuite d'une tache cathodique sur une anode ayant pour effet de faire perdre à la soupape sa propriété de ne laisser passer le courant que dans un sens (V.E.I. 11-20-205).

1-135 Régimes nominaux

1-135-2 *Tension continue nominale U_{di}* : Tension continue maximale spécifiée qui sert de base au régime nominal. C'est la valeur moyenne arithmétique de la tension entre les bornes à courant continu de l'onduleur pour le courant continu nominal.

1-150 Circuit et principe de fonctionnement d'un onduleur

1-152 Les figures 1-1A et 1-1B représentent un exemple d'onduleur hexaphasé à simple voie ainsi que les formes d'onde des courants et des tensions. Il a été supposé que les tensions du réseau à courant alternatif sont symétriques et sinusoïdales, que l'onduleur est en charge et que les pertes dans les résistances et dans l'arc sont négligeables:

1-152-1 A. *Groupe onduleur à couplage hexaphasé*. Pour les définitions, voir Publication 84 de la CEI (paragraphe 152-1).

1-152-4 B. *Formes d'onde théoriques des courants et des tensions* en supposant que l'inductance de la bobine d'égalisation a une valeur finie, et en tenant compte des effets du réglage de phase et de la réactance de fuites. Pour les désignations, voir Publication 84 de la CEI (paragraphe 152-2 à 152-4).

1-152-41 En outre, les symboles suivants sont utilisés:

u_{AC} = valeur instantanée de la tension entre l'anode et la cathode (positive pendant la plus grande partie de la période).

Δu_{AC} = augmentation brusque de la tension entre l'anode et la cathode à la fin de la période de conduction de l'arc principal.

β = angle d'avance (paragraphe 1-131-3).

γ = marge de commutation (paragraphe 1-131-8).

U_{dio} = tension continue idéale (ou fictive) à vide.

Le contour $l m r$ représente les valeurs instantanées de la tension continue théorique à vide de l'onduleur. La valeur moyenne U_{dio} de cette tension ne peut pas être mesurée directement, mais peut être calculée au moyen de la formule suivante:

1-132-5 *Arc-through (conduction-through)*: The failure to achieve blocking of a valve during inverter operation, at the end of the normally-conducting period thus enabling the direct current to pass, in the conventional direction, during the period when the valve should normally be blocked.

1-132-51 *Note*. — An arc-through may result from:

- Insufficient margin of commutation (Sub-clauses 1-131-8 and 1-152-5).
- Arc-chopping (Sub-clause 1-132-2).
- Misfire (Sub-clause 1-132-3).
- Commutation failure (Sub-clause 1-132-4).
- D.C. or a.c. system voltage disturbances (Sub-clause 1-461-1).

1-132-6 *Break-through*: Sudden loss of the blocking action of a valve in the course of a normal forward-blocking period with the result that it allows current to pass in the conventional direction during a part of this period.

1-132-61 *Note*. — Break-through may result from various reasons, e.g.:

- Excessive valve temperature.
- Inadmissible voltage surges.
- Grid blocking failure.

1-132-7 *Arc-back (backfire)*: A fortuitous production of a cathode spot on an anode, the effect of which is to deprive the valve of its property of allowing only the passage of current in one direction (I.E.V. 11-20-205).

1-135 Ratings

1-135-2 *Rated d.c. voltage U_{di}* : The maximum d.c. voltage specified as the basis or rating. It is the arithmetic mean value of the voltage between d.c. terminals of the inverter at rated direct current.

1-150 Circuit and mode of operation of an inverter

1-152 The Figures 1-1A and 1-1B show an example of a six-phase single-way inverter connection and the wave-forms of currents and voltages. It has been assumed that the a.c. network voltages are symmetrical and sinusoidal, that the inverter is on load and that the resistive and arc losses are negligible:

1-152-1 A. *Inverter equipment in six-phase connection*. For designations see IEC Publication 84 (Sub-clause 152-1).

1-152-4 B. *Theoretical wave-forms of currents and voltages* assuming that the inductance of the smoothing reactor has a finite value and taking into account the effects of phase control and stray reactance. For designations see IEC Publication 84 (Sub-clauses 152-2 to 152-4).

1-152-41 In addition the following symbols are used:

u_{AC} = instantaneous voltage between anode and cathode (positive for the greater part of the cycle).

Δu_{AC} = jump of the voltage between anode and cathode at the end of the conduction period of the main arc.

β = angle of advance (Sub-clause 1-131-3).

γ = margin of commutation (Sub-clause 1-131-8).

U_{dio} = ideal no-load d.c. voltage.

The trace *Imr* represents the instantaneous values of the theoretical no-load d.c. voltage of the inverter. The mean value of this voltage, U_{dio} , cannot be measured directly, but it can be calculated by means of the following formula:

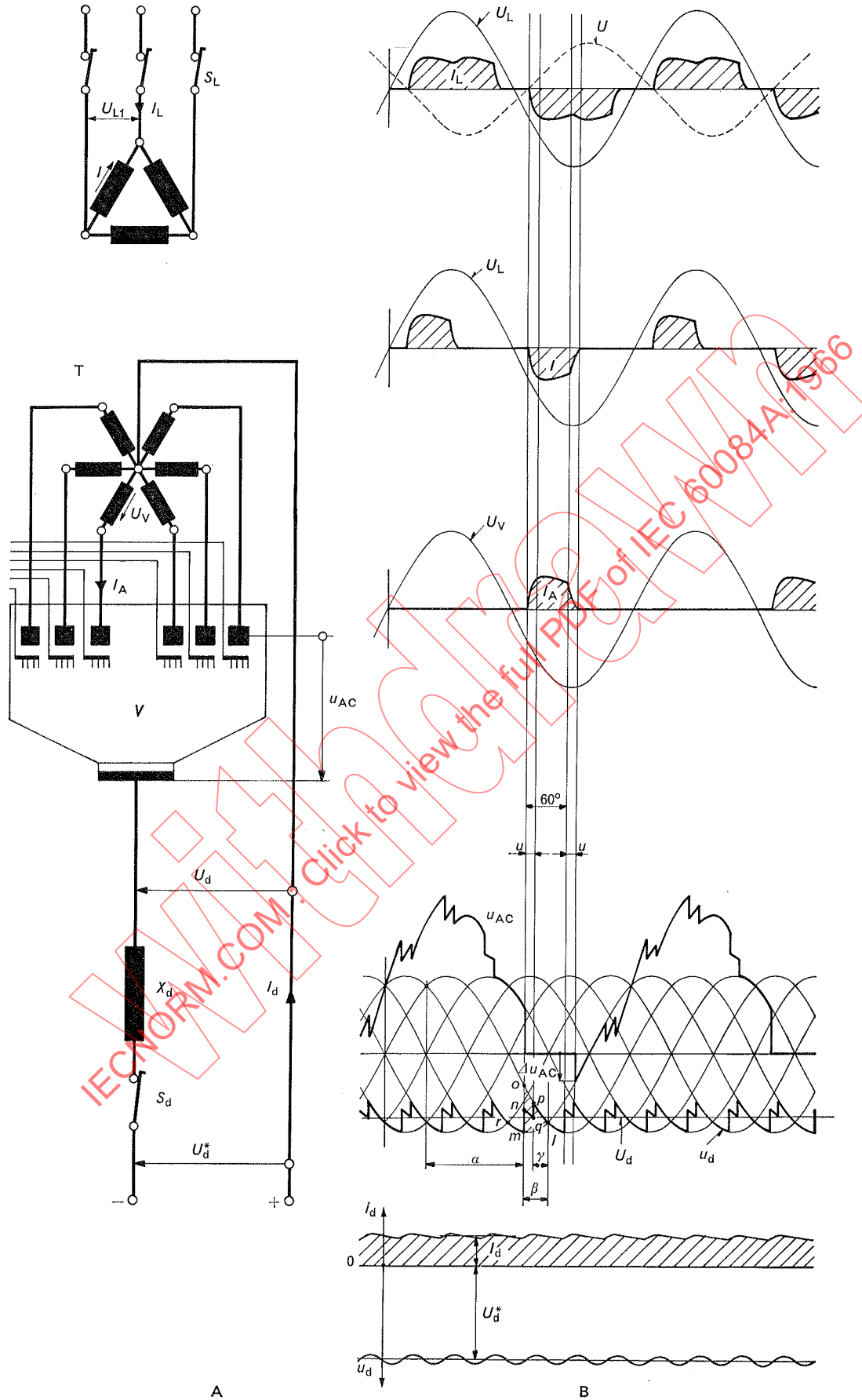


FIGURE 1-1

$$U_{dio} = \sqrt{2} \cdot U_o \cdot \frac{q \cdot s}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{q} = \sqrt{2} \cdot U_{vo} \cdot \frac{q \cdot s}{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{q}}{\sin \frac{\pi}{2}}$$

(Voir Publication 84 de la CEI, paragraphes 130-4 et 130-5.)

$U_{dio\beta}$ = tension continue idéale (ou fictive) à vide avec réglage de tension. Le contour $l o m r$ représente les valeurs instantanées de la tension continue à vide de l'onduleur fonctionnant avec réglage de la tension pour un angle d'avance β . La valeur moyenne $U_{dio\beta}$ de cette tension ne peut pas être mesurée exactement *, mais peut être calculée en utilisant la relation suivante:

$$U_{dio\beta} = U_{dio} \cdot \cos \beta.$$

u_d = valeur instantanée de la tension continue non filtrée de l'onduleur délimitée par le contour $l p q n m r$.

1-152-42 La valeur moyenne U^* de la tension représentée par le contour $l p q n m r$ est supérieure à la tension continue idéale à vide de l'onduleur fonctionnant avec un angle d'avance β de la tension qui correspond à la surface $n o p q$. Cette dernière surface est une augmentation inductive de la tension continue qui se produit pendant l'angle d'empiètement lors de la commutation du courant continu. La valeur de l'élévation inductive de la tension continue d'un onduleur est égale à celle de la chute inductive de la tension continue d_x d'un redresseur pour le même courant continu et avec les mêmes paramètres du circuit. Cette valeur peut être calculée en appliquant l'article 346 de la Publication 84 de la CEI. La valeur moyenne du contour $l p q n m r$ ne peut pas être mesurée exactement**.

1-152-43 La charge de l'onduleur peut être augmentée en accroissant la tension continue d'alimentation U_d^* , en accroissant l'angle d'avance β ou en diminuant la tension alternative U_v de l'enroulement côté soupape du transformateur de l'onduleur.

1-152-44 Note 1. — * Une mesure approximative de $U_{dio\beta}$ ne peut être effectuée qu'à une faible charge de l'onduleur avec un courant continu correspondant au courant critique (paragraphe 1-160-8). Dans ce cas, un voltmètre mesurant la valeur moyenne de la tension, lorsqu'il est relié aux bornes à courant continu, mesure une tension qui est la somme de $U_{dio\beta}$ et de l'élévation de la tension résultant des pertes dans l'arc (ou les arcs) au petit courant de charge, en négligeant les élévations ohmique et inductive de la tension dues au petit courant de charge.

1-152-45 Note 2. — ** Les calculs auxquels il est fait allusion dans cet article ne tiennent pas compte des élévations de tension résultant des pertes dans l'arc (ou les arcs), les connexions et les enroulements du transformateur. Lorsqu'il est relié aux bornes à courant continu, un voltmètre mesurant la valeur moyenne de la tension mesure une tension qui est la somme de $U_{dio\beta}$, de l'élévation inductive de la tension continue et des élévations de la tension dues aux pertes dans l'arc (ou les arcs) et aux pertes dans les résistances des connexions et des enroulements.

1-152-5 *Commutation:* La commutation de l'onduleur doit être terminée avant que le point 1 d'intersection des deux demi-ondes négatives des tensions de deux anodes consécutives soit atteint. De plus, la soupape doit avoir regagné ses propriétés de blocage avant que ce point soit atteint. Un fonctionnement stable en onduleur n'est normalement possible qu'avec des tensions du réseau alternatif pratiquement symétriques et constantes, et avec un angle d'avance convenable qui ne peut pas être réduit au-dessous d'une certaine valeur critique (voir paragraphes 1-131-8 et 1-131-81).

$$U_{dio} = \sqrt{2} \cdot U_o \cdot \frac{q \cdot s}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{q} = \sqrt{2} \cdot U_{\psi o} \cdot \frac{q \cdot s}{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{q}}{\sin \frac{\pi}{2}}$$

(See IEC Publication 84, Sub-clauses 130-4 and 130-5.)

$U_{dio\beta}$ = controlled ideal no-load d.c. voltage. The trace $l o m r$ represents the instantaneous values of the controlled no-load d.c. voltage of the inverter at an angle of advance β . The mean value of this voltage $U_{dio\beta}$ cannot be measured exactly*, but it can be obtained from the following relation:

$$U_{dio\beta} = U_{dio} \cdot \cos \beta.$$

u_d = instantaneous value of the unsmoothed d.c. voltage of the inverter delineated by the trace $l p q n m r$.

1-152-42 The magnitude of the mean value U^* of the voltage represented by the trace $l p q n m r$ is larger than the magnitude of the ideal no-load d.c. voltage of the inverter operating at angle of advance β by the voltage that corresponds to the area $n o p q$. This latter area is an inductive increase in the d.c. voltage, occurring during the angle of overlap when the direct current is being commutated. The magnitude of the inductive d.c. voltage increase in an inverter is equal to the magnitude of the inductive d.c. voltage drop d_x in a rectifier for the same direct current and circuit parameters. This magnitude can be calculated according to Clause 346 of IEC Publication 84. The mean value of the trace $l p q n m r$ cannot be measured exactly**.

1-152-43 The load on the inverter may be increased by increasing the d.c. supply voltage U_d^* , increasing the angle of advance β or decreasing the a.c. voltage U_v of the valve winding of the inverter transformer.

1-152-44 Note 1. — * An approximate measurement of $U_{dio\beta}$ can only be performed at light load on the inverter with a direct current corresponding to the transition current (Sub-clause 1-160-8). In this case a voltmeter measuring the mean value of the voltage, when connected across the d.c. terminals, measures a voltage which is the sum of $U_{dio\beta}$ and the voltage increase arising from the losses in the arc(s) at light load, the resistive and inductive voltage increases caused by the light load current being neglected.

1-152-45 Note 2. — ** The calculations referred to in this clause do not take into account the additional voltage increases arising from the losses in the arc(s), connections and transformer windings. A voltmeter measuring the mean value of the voltage, when connected across the d.c. terminals, measures a voltage which is the sum of $U_{dio\beta}$, the inductive d.c. voltage increase and the voltage increases caused by the arc losses and resistive losses in the connections and windings.

1-152-5 *Commutation:* The commutation of the inverter must be finished before 1, the point of intersection of the negative anode-voltage half-waves of two consecutive anodes, is approached. Moreover, the valve must regain its controlling properties before this intersection point is reached.

Stable inverter operation is normally conditional upon the a.c. system voltages being substantially symmetrical and constant, also upon an adequate angle of advance which cannot be reduced below a certain critical value. (See Sub-clauses 1-131-8 and 1-131-81.)

- 1-152-6 *Fourniture de la puissance réactive:* L'onduleur ne peut pas fournir de la puissance réactive. En conséquence, la puissance réactive nécessaire à la conversion de puissance, c'est-à-dire à la commutation et au réglage de phase, aussi bien que celle nécessaire à la charge du réseau alternatif, doivent être fournies par d'autres installations, telles que des machines tournantes et/ou des condensateurs. (Voir la figure 1-6 à la page 31 a.)

1-153 **Passage du fonctionnement en redresseur au fonctionnement en onduleur**

- 1-153-1 La figure 1-2 représente l'allure théorique de la courbe de la tension continue u_d (paragraphe 1-152-41) entre le point neutre du transformateur et la cathode de la soupape ou du jeu de soupapes, ainsi que les valeurs de la tension continue filtrée théorique U_d^* sur le côté réseau continu de la bobine d'égalisation pendant le passage du fonctionnement en redresseur au fonctionnement en onduleur. Les diagrammes sont basés sur le couplage en hexaphasé de l'onduleur représenté à la figure 1-1A. (La chute de tension dans l'arc a été négligée.)

- 1-153-2 La figure 1-2 représente en outre l'allure théorique de la forme d'onde de la tension u_{AC} entre l'anode et la cathode (paragraphe 1-152-41) et la variation inductive de la tension continue $n o p q$ (paragraphe 1-152-42) pendant le passage du fonctionnement en redresseur au fonctionnement en onduleur.

La valeur moyenne de la tension u_{AC} passe d'une valeur négative à une valeur positive pendant le passage du fonctionnement en redresseur au fonctionnement en onduleur.

1-154 **Équipement de réglage de phase**

Équipement utilisé pour la production et la distribution des impulsions de commande et pour faire varier l'angle de réglage de phase.

- 1-154-1 Les équipements de réglage de phase peuvent être classés en équipements électromagnétiques, électroniques, à semi-conducteurs ou mécaniques.

- 1-154-2 Un équipement de réglage de phase remplit habituellement les fonctions suivantes:

- synchronisation de phase;
- déphasage;
- production des impulsions pour les grilles ou les igniteurs;
- amplification;
- polarisation des grilles.

Dans un équipement de réglage de phase, on doit prévoir généralement une pleine isolation des parties qui sont au potentiel de la soupape par rapport à celles qui sont à des potentiels différents.

- 1-154-3 *Notes.* — L'ordre de succession des fonctions énumérées ci-dessus est susceptible de varier et, dans certains types d'équipements de réglage de phase, il est possible de réaliser plus d'une fonction en n'utilisant qu'un seul dispositif.

Divers types d'équipements de réglage de phase (paragraphe 1-154-1) peuvent être combinés dans un même équipement.

Un équipement de réglage de phase peut comporter à la fois un équipement pour la commande des grilles et un équipement pour la commande des igniteurs.

- 1-152-6 *Reactive power supply:* The inverter cannot deliver reactive power. Therefore the reactive power needed for the power conversion, i.e. for the commutation and phase control, as well as for the load on the a.c. network, must be derived from other plant such as rotating machines and/or capacitors. (See Figure 1-6 on page 31 a.)

1-153 Transition from rectifier operation to inverter operation

- 1-153-1 Figure 1-2 shows the theoretical wave-form of the d.c. voltage, u_d , (Sub-clause 1-152-41) between the transformer neutral and the cathode of the valve or valve set, as well as the values of the theoretical smoothed d.c. voltage, U_d^* , on the d.c. network side of the smoothing reactor during the transition from rectifier operation to inverter operation. The diagrams are based on the six-phase connection of the inverter given in Figure 1-1A. (The arc voltage drop has been neglected.)
- 1-153-2 Figure 1-2 also shows the theoretical wave-form of the voltage u_{AC} between the anode and cathode (Sub-clause 1-152-41) and the inductive d.c. voltage change $n o p q$ (Sub-clause 1-152-42) during the transition from rectifier operation to inverter operation. The mean value of the voltage u_{AC} changes from a negative value to a positive value during the transition from rectifier operation to inverter operation.

1-154 Phase control equipments

An equipment used for the production and distribution of the control impulses and for the modification of the phase control angle.

- 1-154-1 Phase control equipments may be classified into electromagnetic, electronic, semiconductor and mechanical equipments.
- 1-154-2 A phase control equipment usually performs the following functions:
- phase synchronizing;
 - phase shifting;
 - pulse generating for grids or ignitors;
 - amplification;
 - grid biasing.

In a phase control equipment, full isolation of the parts at valve potential from the parts at other potentials usually has to be provided.

- 1-154-3 *Notes.* — The sequence of the functions listed above may be varied, and for some types of phase control equipment, it is possible to perform more than one function using one device only.
- Various types of phase control equipment (Sub-clause 1-154-1) may be combined in an equipment.
- A phase control equipment may comprise grid control equipment and ignitor equipment.

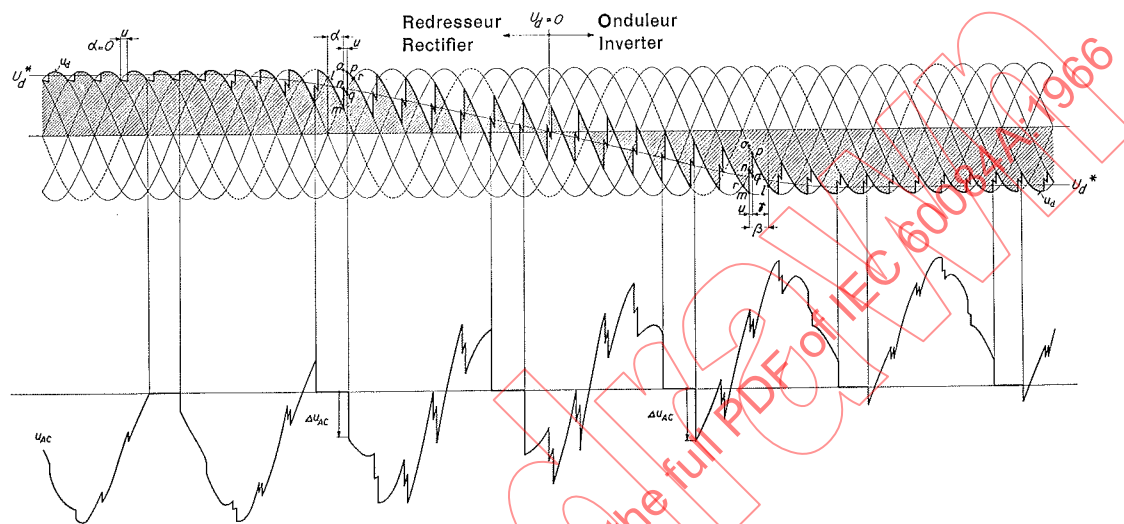


FIGURE 1-4

1-160 Variation de tension

1-160-5 *Tension continue idéale à vide U_{dio}* : La tension continue idéale à vide d'un onduleur est égale à celle d'un redresseur ayant la même tension entre phases et neutre côté soupape U_v , le même nombre de commutations q et le même nombre de groupes commutants montés en série. (Voir Publication 84 de la CEI, paragraphe 130-5.)

1-160-6 *Tension continue idéale à vide avec réglage de phase $U_{dio\beta}$* : La tension continue idéale à vide d'un onduleur fonctionnant avec un angle d'avance β est égale à celle d'un redresseur ayant la même tension continue idéale à vide U_{dio} et fonctionnant avec un angle de retard α égal à β :

$$U_{dio\beta} = U_{dio} \cdot \cos \beta.$$

1-160-7 *Tension continue conventionnelle à vide avec réglage de phase $U_{do\beta}$* : La tension continue conventionnelle à vide $U_{do\beta}$ d'un onduleur fonctionnant avec un angle d'avance β est la somme de la tension continue idéale à vide avec réglage de phase $U_{dio\beta}$ et de la chute de tension dans l'arc à vide D_{co} .

En conséquence, la différence entre la tension continue conventionnelle à vide $U_{do\beta}$ d'un onduleur fonctionnant avec un angle d'avance β et la tension correspondante $U_{do\alpha}$ d'un redresseur fonctionnant avec un angle de retard α égal à β est égale à deux fois la chute de tension dans l'arc à vide.

$$U_{do\alpha} = U_{dio} \cdot \cos \alpha - D_{co} \quad U_{do\beta} = U_{dio} \cdot \cos \beta + D_{co}$$

$$U_{do\beta} - U_{do\alpha} = 2D_{co} \text{ pour } \alpha = \beta.$$

1-160-8 *Courant critique*: La valeur du courant continu au-dessous de laquelle le courant circulant commence à présenter des interruptions (courant haché). Si la valeur moyenne du courant continu est réduite au-dessous de la valeur du courant critique, la courbe caractéristique courant - tension (montrée dans la figure 1-5), restée rectiligne jusqu'à ce point, commence à s'incurver vers le haut. Dans ce point la tension continue atteint approximativement la valeur de la tension conventionnelle à vide $U_{do\beta}$ pour le fonctionnement en onduleur ou $U_{do\alpha}$ pour le fonctionnement en redresseur (paragraphe 1-160-7).

Le courant critique dépend de l'impédance de la bobine d'égalisation et de l'angle d'avance β ou de retard α . Il croît si β ou α augmente et si l'inductance de la bobine d'égalisation diminue.

Dans le cas où l'inductance de la bobine d'égalisation est très élevée, le courant critique devient négligeable, la caractéristique reste droite presque jusqu'à zéro et le coude pour les petits courants devient indiscernable.

1-160-9 Diagrammes

1-160-91 La figure 1-3 représente à titre de comparaison les courbes théoriques de variation de tension dans le fonctionnement en onduleur avec différents angles d'avance β aussi bien que dans le fonctionnement en redresseur avec les mêmes angles de retard α , dans l'hypothèse d'une inductance très élevée de la bobine d'égalisation X_d .

La limite de commutation indiquée sur la figure 1-3 donne la valeur la plus élevée du courant continu admissible dans le fonctionnement en onduleur pour un angle d'avance donné β , et pour laquelle la valeur critique de l'angle de marge $\gamma_{\min}$ est atteinte. Si le courant limite est dépassé, des décrochages (paragraphe 1-132-5) se produisent.

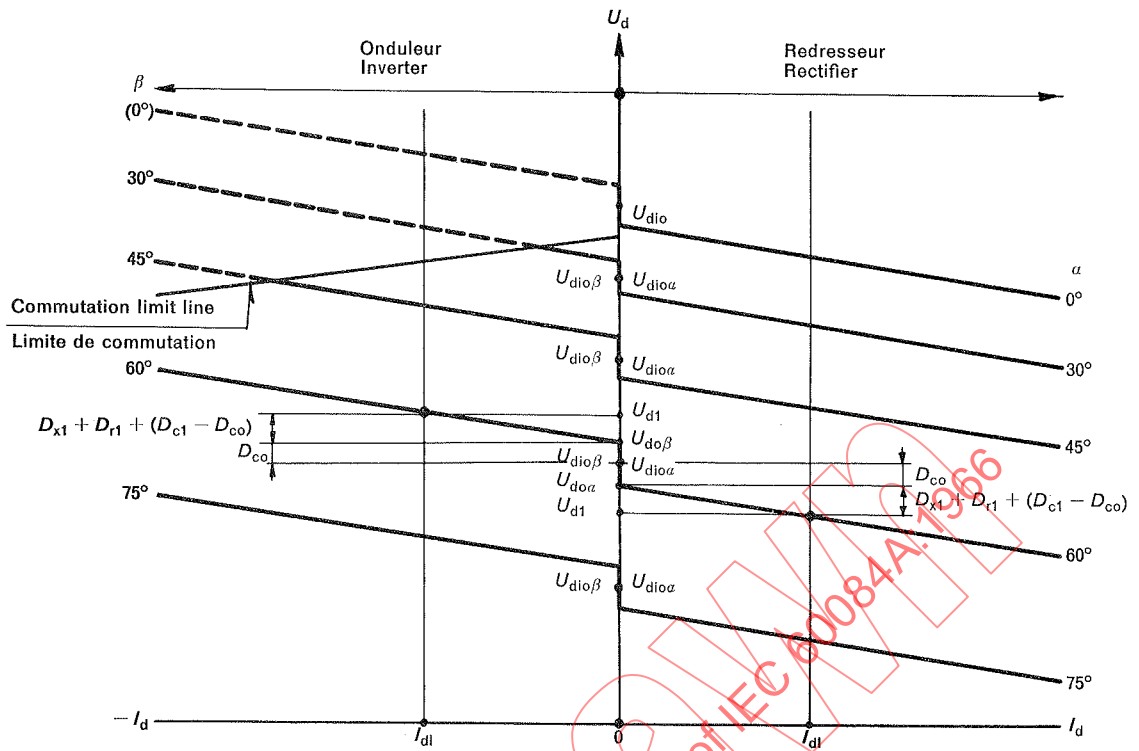


FIGURE 1-3

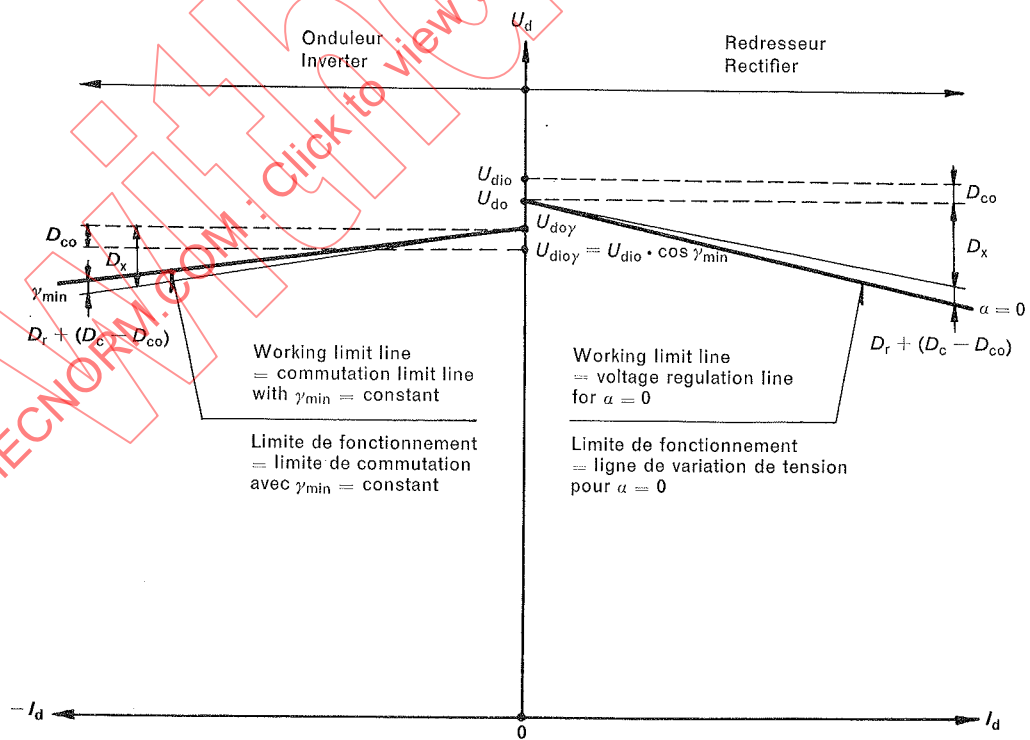


FIGURE 1-4

1-160 Voltage regulation

1-160-5 *Ideal no-load d.c. voltage U_{dio}* : The ideal no-load d.c. voltage of an inverter is equal to that of a rectifier with the same valve-side phase-to-neutral voltage U_v , the same commutation number q and the same numbers of series-connected commutating groups. (See IEC Publication 84, Sub-clause 130-5.)

1-160-6 *Controlled ideal no-load d.c. voltage $U_{dio\beta}$* : The controlled ideal no-load d.c. voltage of an inverter with the angle of advance β is equal to that of a rectifier with the same ideal no-load d.c. voltage U_{dio} and a delay angle α equal to β :

$$U_{dio\beta} = U_{dio} \cdot \cos \beta.$$

1-160-7 *Controlled conventional no-load d.c. voltage $U_{do\beta}$* : The controlled conventional no-load d.c. voltage $U_{do\beta}$ of an inverter with the angle of advance β is the sum of the controlled ideal no-load d.c. voltage $U_{dio\beta}$ and the arc voltage drop D_{co} at no-load. Therefore the difference between the controlled conventional no-load d.c. voltage $U_{do\beta}$ of an inverter, with an angle of advance β , and the corresponding voltage $U_{do\alpha}$ of a rectifier with a delay angle α equal to β is twice the arc voltage drop D_{co} at no-load.

$$\begin{aligned} U_{do\alpha} &= U_{dio} \cdot \cos \alpha - D_{co} & U_{do\beta} &= U_{dio} \cdot \cos \beta + D_{co} \\ U_{do\beta} - U_{do\alpha} &= 2 D_{co} \text{ for } \alpha = \beta. \end{aligned}$$

1-160-8 *Transition current*: The value of the direct current below which the current flow becomes intermittent (discontinuous current). As the mean value of the direct current is reduced below the transition current value, the straight-line current-voltage characteristic (shown in Figure 1-5) begins to bend upwards. In this point the d.c. voltage reaches approximately the value of the controlled conventional no-load d.c. voltage $U_{do\beta}$ for inverter operation or $U_{do\alpha}$ for rectifier operation (Sub-clause 1-160-7).

The value of the transition current depends on the inductance of the smoothing reactor and on the angle of advance β or of delay α . It increases with increasing β or α and with decreasing reactor inductance.

In the case of high reactor inductance, the transition current becomes negligibly small and the current-voltage characteristic remains straight down nearly to zero current, showing practically no bend at low currents.

1-160-9 Diagrams

1-160-91 Figure 1-3 shows the theoretical regulation curves for inverter operation with several different advance angles β , as well as for rectifier operation with the same delay angles α for comparative purpose, assuming high inductance of the smoothing reactor X_d .

The commutating limit line shown in Figure 1-3 indicates the highest admissible direct current in inverter operation for a given angle of advance β , at which the critical value of the margin angle γ_{min} is reached. If this current limit is exceeded, an arc-through (Sub-clause 1-132-5) will occur.

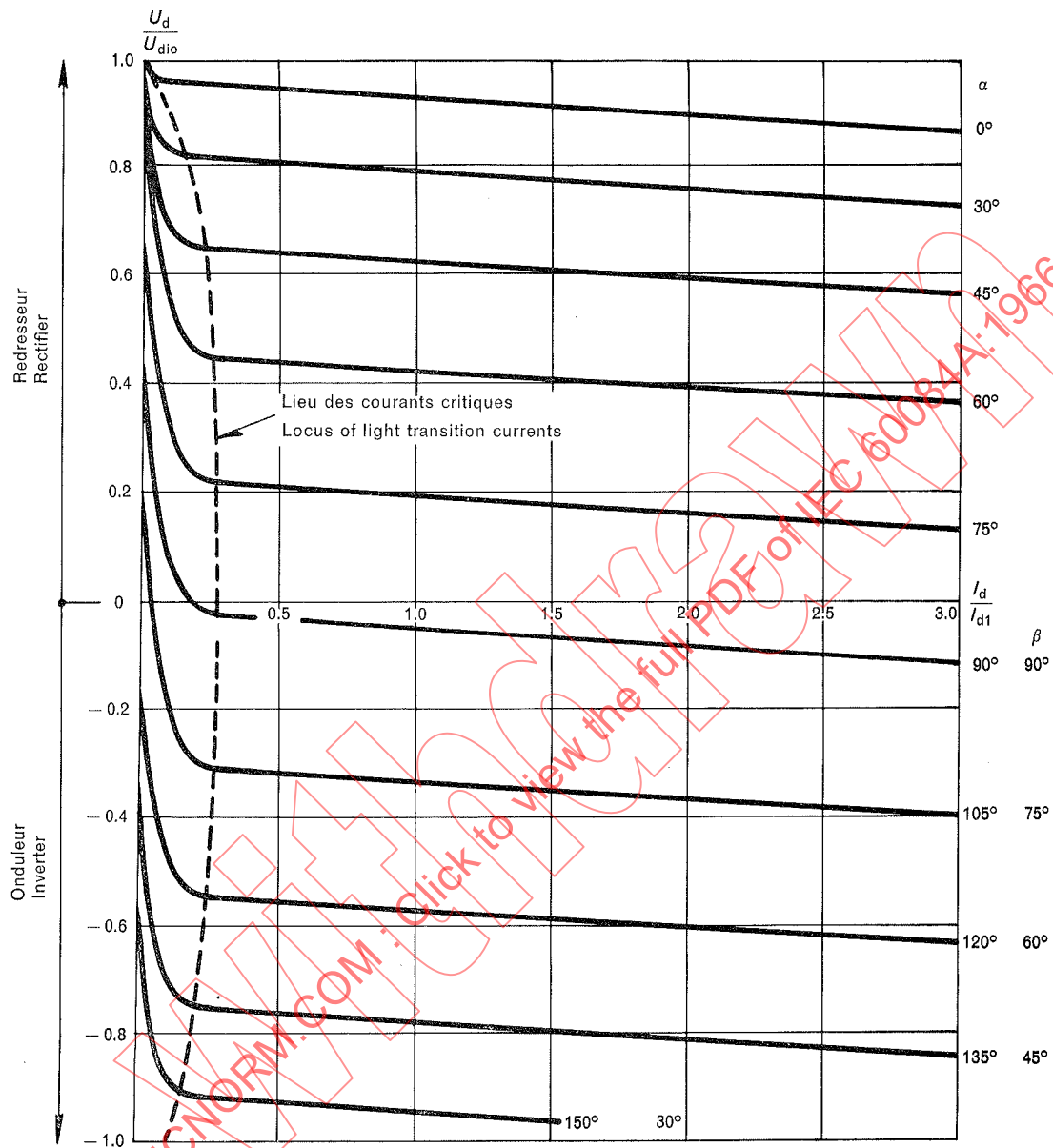


FIGURE 1-5

1-160-92 La figure 1-4 montre les limites de fonctionnement en onduleur et en redresseur.
 Dans le fonctionnement en onduleur, la ligne limite est constituée par la limite de commutation (paragraphe 1-160-91) et, dans l'exemple représenté, la valeur critique de l'angle de marge $\gamma_{\min}$ a été supposée constante pour toutes les valeurs du courant continu.

Dans le fonctionnement en redresseur, la limite est constituée par la courbe de variation de tension pour un angle de retard α égal à zéro.

1-160-93 La figure 1-5 représente les courbes de variation de tension d'un convertisseur pendant le passage du fonctionnement en redresseur au fonctionnement en onduleur tel qu'il est décrit dans l'article 1-153 pour des angles de retard α croissants et des angles d'avances β décroissants, en admettant toutefois une valeur relativement faible de l'inductance de la bobine d'égalisation X_d . Dans ce cas, le courant critique atteint une fraction considérable du courant nominal. Les parties des courbes de variation de tension à gauche du lieu des courants critiques s'incurvent vers le haut, ce qui signifie que dans cette partie une diminution du courant continu est accompagnée par une augmentation élevée de la tension continue dans le fonctionnement en redresseur et par une diminution élevée de la tension continue dans le fonctionnement en onduleur.

1-185 Liste des principaux symboles littéraux

1-185-1 Liste des indices

- C Cathode
- Q Composante réactive
- S Composante apparente
- W Composante active
- β Angle d'avance

1-185-2 Liste des symboles

- d_c = Chute ou élévation de la tension continue résultant des pertes dans l'arc, en pour-cent de U_{dio} (paragraphe 1-432-11 et figure 1-6).
- d_r = Chute ou élévation ohmique totale de la tension continue, en pour-cent de U_{dio} (paragraphe 1-432-11 et figure 1-6).
- d_x = Chute ou élévation inductive totale de la tension continue, en pour-cent de U_{dio} (paragraphe 1-152-42, 1-153-2, 1-432-11 et figure 1-6).
- I_{L11} = Onde fondamentale du courant nominal côté ligne I_{L1} (paragraphe 1-432-11).
- P_{LQ} = Puissance réactive côté ligne basée sur l'onde fondamentale de I_L (paragraphe 1-432-11 et figure 1-6).
- P_{LS} = Puissance apparente côté ligne basée sur l'onde fondamentale de I_L (paragraphe 1-432-11 et figure 1-6).
- P_{LW} = Puissance active côté ligne (paragraphe 1-432-11 et figure 1-6).
- u_{AC} = Valeur instantanée de la tension entre anode et cathode (paragraphe 1-152-41 et figures 1-1 et 1-2).
- Δu_{AC} = Augmentation brusque de la tension u_{AC} entre l'anode et la cathode à la fin de la période de conduction de l'arc principal (paragraphe 1-152-41 et figures 1-1 et 1-2).
- u_d = Valeur instantanée de la tension continue non-filtrée (paragraphe 1-152-41 et figures 1-1 et 1-2).
- U_{dr} = Tension continue interne fictive en charge, y compris la somme de la chute ou de l'élévation ohmique totale D_r de la tension continue et de la chute ou de l'élévation D_c de la tension continue résultant des pertes dans l'arc (paragraphe 1-432-11 et figure 1-6).

1-160-92 Figure 1-4 shows the working limit lines for inverter operation and for rectifier operation. For inverter operation, this line is formed by the commutating limit line (Sub-clause 1-160-91). In this example, the critical value of the margin angle $\gamma_{\min}$ is assumed to be constant over the whole d.c. current range. For rectifier operation, the working limit line is given by the regulation curve with the delay angle α equal to zero.

1-160-93 Figure 1-5 shows the regulation curves of a convertor during transition from rectifier operation to inverter operation as described in Clause 1-153, for increasing delay angles α and decreasing angles of advance β , assuming however a relatively small value for the inductance of the smoothing coil X_d .

In this case, the transition current is an appreciable proportion of the rated value. The parts of the regulation curves appearing to the left of the transition-current locus bend upwards, which means that a decrease in current on the d.c. side is accompanied by a greater rise in d.c. voltage for rectifier operation and a greater drop in d.c. voltage for inverter operation.

1-185 List of principal letter symbols

1-185-1 List of suffixes

- C Cathode
- Q Reactive component
- S Apparent component
- W Real component
- β Angle of advance

1-185-2 List of symbols

- d_c = D.C. voltage drop or increase caused by the arc losses in per cent of U_{dio} (Sub-clause 1-432-11 and Figure 1-6).
- d_r = Total resistive d.c. voltage drop or increase in per cent of U_{dio} (Sub-clause 1-432-11 and Figure 1-6).
- d_x = Total inductive d.c. voltage drop or increase in per cent of U_{dio} (Sub-clauses 1-152-42, 1-153-2, 1-432-11 and Figure 1-6).
- I_{L11} = Fundamental wave of the rated line side current I_{L1} (Sub-clause 1-432-11).
- P_{LQ} = Reactive power on the line side, based on the fundamental wave of I_L (Sub-clause 1-432-11 and Figure 1-6).
- P_{LS} = Apparent power on the line side, based on the fundamental wave of I_L (Sub-clause 1-432-11 and Figure 1-6).
- P_{LW} = Real power on the line side (Sub-clause 1-432-11 and Figure 1-6).
- u_{AC} = Instantaneous voltage between anode and cathode (Sub-clause 1-152-41 and Figures 1-1 and 1-2).
- Δu_{AC} = Jump of voltage u_{AC} between anode and cathode at the end of the conduction period of the main arc (Sub-clause 1-152-41 and Figures 1-1 and 1-2).
- u_d = Instantaneous value of the unsmoothed d.c. voltage (Sub-clause 1-152-41 and Figures 1-1 and 1-2).
- U_{dr} = Fictitious internal d.c. voltage on load including the sum of the total resistive d.c. voltage drop or increase D_r and the d.c. voltage drop or increase D_c caused by the arc losses (Sub-clause 1-432-11 and Figure 1-6).

- U_{do} = Tension continue conventionnelle à vide, y compris la chute ou l'élévation D_{co} de la tension continue résultant des pertes dans l'arc à faible charge (paragraphe 1-160-7 et figures 1-3 et 1-4).
- β = Angle d'avance dans le fonctionnement en onduleur (article 1-160, 1-431, paragraphes 1-131-3, 1-152-4, 1-432-11 et figures 1-1 à 1-6).
- γ = Marge de commutation (angle de marge) dans le fonctionnement en onduleur (article 1-451, paragraphes 1-131-8, 1-152-4, 1-432-11 et figures 1-1, 1-2, 1-4 et 1-6).
- γ_{min} = Valeur critique de l'angle de marge (paragraphes 1-152-5, 1-160-9 et figures 1-3 et 1-4).

1-185-3 *Note.* — Pour les autres indices et symboles utilisés dans les présentes recommandations, voir la Publication 84 de la CEI.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60084A:1966

- U_{do} = Conventional no-load d.c. voltage including the d.c. voltage drop or increase D_{co} , caused by the arc losses at light load (Sub-clause 1-160-7 and Figures 1-3 and 1-4).
- β = Angle of advance for inverter operation (Clauses 1-160, 1-431, Sub-clauses 1-131-3, 1-152-4, 1-432-11 and Figures 1-1 to 1-6).
- γ = Margin of commutation for inverter operation (Clause 1-451, Sub-clauses 1-131-8, 1-152-4, 1-432-11 and Figures 1-1, 1-2, 1-4 and 1-6).
- γ_{min} = Critical value of the margin of commutation (Sub-clauses 1-152-5, 1-160-9 and Figures 1-3 and 1-4).

1-185-3 *Note.* — For the other suffixes and symbols given in these Recommendations, see IEC Publication 84.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60084A:1966

1-200

SOUPAPES

1-250 Essais

1-254 Exécution des essais en charge

L'essai en charge (voir Publication 84 de la CEI, article 253) de la soupape ou du jeu de soupapes d'un onduleur doit être exécuté en utilisant un réseau à courant alternatif existant relié aux bornes côté ligne du transformateur, et à une tension au moins égale à la tension nominale côté soupape du transformateur. Les conditions en ce qui concerne l'altitude et la température doivent être les mêmes que celles spécifiées pour le régime nominal, ou leur être équivalentes. L'essai doit commencer avec toutes les parties de la soupape à la température régnant dans les ateliers du constructeur, si la soupape ou le jeu de soupapes n'est pas muni de dispositifs de chauffage, ou dans les limites normales de la température contrôlée s'il existe des dispositifs de chauffage.

- 1-254-1 La soupape (ou le jeu de soupapes) doit être mis(e) en fonctionnement au courant continu nominal jusqu'à ce que des conditions de température stables soient atteintes. Chacun des courants spécifiés supérieurs au courant continu nominal doit être appliqué une fois seulement après un tel fonctionnement, à moins que d'autres ordres de succession des charges n'aient été spécifiés.
- 1-254-2 L'essai en charge doit être effectué avec l'onduleur fonctionnant en redresseur et mis en court-circuit par une réactance de lissage de faible résistance et d'inductance convenable dans le circuit à courant continu, et avec un angle de retard d'environ 90° , suffisant pour provoquer le passage du courant voulu.
- 1-254-3 Le transformateur utilisé pour l'essai en charge doit avoir un mode de couplage donnant le même «étalement», théorique de courant $2\pi/q$ (voir Publication 84 de la CEI, paragraphe 130-2) que le transformateur qui sera utilisé en service.
- 1-254-4 La réactance totale de commutation du circuit d'essai provoquera, pour le courant continu nominal, une chute ou une élévation inductive de tension d_{xi} (paragraphe 1-152-42 et 1-153-2) dont la valeur, laissée au choix du constructeur, ne devra pas être plus grande qu'elle ne sera en service. Pour le calcul de d_{xi} , se référer à la Publication 84 de la CEI, article 346.
- 1-254-5 L'inductance de la bobine de lissage utilisée pour l'essai en charge doit être choisie de façon telle que le taux d'harmoniques du courant redressé n'excède pas 10 %; cependant, si on envisage que le taux d'harmoniques du courant redressé puisse être, en service, supérieur à 10 %, on peut utiliser une bobine de lissage d'inductance plus faible.
- 1-254-6 Si l'installation comporte des dispositifs, tels que des réactances ou des circuits RC pour réduire les contraintes des soupapes, ces dispositifs peuvent également être utilisés au cours de l'essai en charge.
- 1-254-7 Au cours de l'essai en charge, la valeur maximale du temps de rétablissement du contrôle (paragraphe 1-131-9) doit être mesurée de façon approximative au moyen d'un oscilloscope ou d'un autre dispositif équivalent, pour répondre à la prescription de l'article 1-462.

1-200

VALVES

1-250 Tests

1-254 Performance of load tests

The load test (see IEC Publication 84, Clause 253) on the valve or valve set of an inverter shall be performed using an established a.c. system on the line side of the transformer and with not less than the rated voltage on the valve side of the transformer. The service conditions of altitude and temperature shall be the same as, or equivalent to, those specified for the rating. The test shall start with all parts of the valve at the temperature prevailing in the manufacturer's works if the valve or valve set is not provided with heating means, or within the normal controlled temperature range if heaters are provided.

- 1-254-1 The valve or valve set is to be operated at rated direct current until stable temperature conditions are attained. Each specified current in excess of rated direct current shall then be applied once only after such operation, unless other loading sequences have been specified.
- 1-254-2 The load test shall be performed with the inverter operating as a rectifier, short-circuited over a smoothing reactor of small resistance and of adequate inductance in the d.c. circuit, and with a delay angle of about 90° , sufficient to cause the requisite current to flow.
- 1-254-3 The transformer used for the load test must have a connection giving the same theoretical current spread $2\pi/q$ (see IEC Publication 84, Sub-clause 130-2) as will be given by the transformer to be used in service.
- 1-254-4 The total commutating reactance of the test circuit shall give an inductive voltage drop or voltage increase d_{x1} (Sub-clauses 1-152-42 and 1-153-2) at rated direct current, as chosen by the manufacturer, but not greater than the value on site. For the calculation of d_{x1} , see IEC Publication 84, Clause 346.
- 1-254-5 The inductance of the smoothing reactor used for the load test shall be chosen so, that the harmonic-content in the rippled d.c. load current does not exceed 10%, but if the harmonic-content in the direct current on site is expected to be higher than 10%, a suitable smoothing coil with lower inductance can be used.
- 1-254-6 If there are some means, e.g. reactors, or RC-circuits reducing the stresses of the valves on site, such means may also be used during the load test.
- 1-254-7 During the load test, the maximum value of the control recovery time (Sub-clause 1-131-9) shall be measured approximately, by oscilloscope or other equivalent means, for the purpose prescribed in Clause 1-462.

1-260 Pertes dans la soupape

1-263 Mesure de la chute de tension dans l'arc

La chute de tension dans l'arc de la soupape doit être mesurée dans le fonctionnement en redresseur. (Voir Publication 84 de la CEI, article 263.)

1-290 Plaque signalétique

1-293-1 La plaque signalétique de la soupape ou du jeu de soupapes doit porter la désignation du mode de fonctionnement comme «redresseur» ou «onduleur», ou les deux désignations si la soupape ou le jeu de soupapes est destiné(e) à fonctionner aussi bien en redresseur qu'en onduleur.

1-293-2 Si les régimes nominaux ne sont pas les mêmes dans les fonctionnements en redresseur et en onduleur, ils doivent être indiqués tous les deux.

1-293-21 *Note.* — A cet effet, on peut prévoir deux plaques signalétiques séparées, une pour chaque mode de fonctionnement, ou bien les indications nécessaires pour les deux modes de fonctionnement peuvent être combinées sur une plaque commune.

1-260 Valve losses

1-263 Measurement of the arc voltage drop

The arc voltage drop of the valve shall be measured in rectifier connection. (See IEC Publication 84, Clause 263.)

1-290 Rating plate

1-293-1 The rating plate of the valve or valve set shall bear the designation of the mode of operation as “rectifier” or “inverter”, or both designations if the valve or valve set is provided for rectifier and inverter operation.

1-293-2 If the ratings in rectifier and inverter operation are not the same, both shall be indicated.

1-293-21 *Note.* — For this purpose, two separate rating plates may be provided, one for each mode of operation, or the necessary indications for both modes of operation shall be combined on a common rating plate.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60084A:1986

1-300

TRANSFORMATEUR ET BOBINES D'INDUCTANCE

1-310 Généralités

- 1-313 *Note.* — Pour un onduleur, toutes les chutes de tension continue mentionnées dans la Publication 84 de la CEI articles 345, 346, 347 et 361 se transforment en des élévations de tension continue à appliquer, dont les valeurs sont égales à celles des chutes de tension continue correspondantes d'un redresseur pour le même courant continu et avec les mêmes paramètres du circuit. (Voir paragraphe 1-152-42.) Pour cette raison les valeurs de ces élévations de tension continue peuvent être mesurées ou calculées de la même manière que les valeurs des chutes de tension continue correspondantes en appliquant les articles 345, 346 ou 347 respectivement.

1-360 Plaque signalétique

- 1-362-7 Si les régimes nominaux ne sont pas les mêmes dans les fonctionnements en redresseur et en onduleur, ils doivent être indiqués tous les deux.
- 1-362-71 *Note.* — A cet effet, on peut prévoir deux plaques signalétiques, une pour chaque mode de fonctionnement, ou les deux régimes nominaux peuvent être indiqués sur une plaque commune.