NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60676

Deuxième édition
Second edition
2002-03

Chauffage électrique industriel – Méthodes d'essai des fours à arc direct

Industrial electroheating equipment – Test methods for direct arc furnaces



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60676:2002

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

  Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**

  Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.
- **Service clients**

  Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

  Email: custserv@iec.ch
  Tél: +41 22 919 02 11
  Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

  The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.
- **IEC Just Published**

  This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.
- **Customer Service Centre**

  If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

  Email: custserv@iec.ch
  Tel: +41 22 919 02 11
  Fax: +41 22 919 03 00

.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60676

Deuxième édition
Second edition
2002-03

Chauffage électrique industriel – Méthodes d'essai des fours à arc direct

Industrial electroheating equipment – Test methods for direct arc furnaces

© IEC 2002 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE R

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

SOMMAIRE

AVANT PROPOS 4

1 Domaine d'application et objet 6
2 Références normatives 6
3 Définitions 8
4 Type des essais et conditions générales d'exécution 16
4.1 Liste des essais 16
4.2 Conditions générales d'exécution des essais 16
5 Recommandations sur les essais techniques 18
5.1 Mesure de l'isolement électrique de la ligne à haute intensité 18
5.2 Mesure du débit d'eau de refroidissement et des pertes thermiques 18
5.3 Mesure de la vitesse de déplacement des électrodes 20
5.4 Vérification de la capacité assignée du four 20
5.5 Essai de court-circuit en fonctionnement normal (non applicable aux fours à arc direct à courant continu) 20
5.6 Détermination des caractéristiques principales de fonctionnement pendant la période de maintien de la puissance 28
5.7 Mesure de l'usure spécifique des électrodes 32
5.8 Vérification du sens de rotation des phases 32

Figure 1 – Circuit de mesure de la résistance et de la réactance de la ligne à haute intensité (court-circuit triphasé) 34
Figure 2 – Circuit de mesure de la résistance et de la réactance de la ligne à haute intensité (court-circuit monophasé) 36
Figure 3 – Exemple de circuit d'un four à arc en courant alternatif équipé d'inductances saturables 38

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CONTENTS

FOREWORD 5

1 Scope and object 7
2 Normative references 7
3 Definitions 9
4 Type of tests and general conditions of their performance 17
4.1 List of tests 17
4.2 General conditions of test performance 17
5 Recommendations on technical tests 19
5.1 Measurement of electrical insulation of high-current line 19
5.2 Measurement of cooling-water flow rate and heat losses 19
5.3 Measurement of the speed of electrode motion 21
5.4 Check of the rated capacity of the furnace 21
5.5 Carrying out a short-circuit test during normal operation (not applicable for d.c. direct arc furnaces) 21
5.6 Determination of the main operating characteristics during the power-on time 29
5.7 Measurement of the specific electrode wear 33
5.8 Phase rotation check 33

Figure 1 – Wiring diagram for measurement of the resistance and reactance of the high-current line (three-phase short circuit) 35
Figure 2 – Wiring diagram for measurement of the resistance and reactance of the high-current line (one-phase short circuit) 37
Figure 3 – Example of a wiring diagram of an a.c. arc furnace equipped with saturable reactors 39

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE INDUSTRIEL – METHODES D'ESSAI DES FOURS A ARC DIRECT

AVANT PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60676 a été établie par le comité d'études 27 de la CEI: Chauffage électrique industriel.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1980 dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
27/299/FDIS	27/306/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Le contenu du corrigendum de juillet 2002 a été pris en considération dans cet exemplaire.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INDUSTRIAL ELECTROHEATING EQUIPMENT – TEST METHODS FOR DIRECT ARC FURNACES

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60676 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating equipment.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1980 and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
27/299/FDIS	27/306/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The contents of the corrigendum of July 2002 have been included in this copy.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE INDUSTRIEL – MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS À ARC DIRECT

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux fours triphasés industriels à arc direct, dont la capacité assignée est supérieure ou égale à 500 kg. Les fours conviennent tant aux charges solides que liquides, sous une pression intérieure égale à ou voisine de la pression atmosphérique.

Cette norme est également applicable aux fours à une ou plusieurs électrodes, autres que les fours triphasés, dans la mesure où elle s'applique.

Ces fours sont destinés à la fusion des métaux ferreux (par exemple l'acier, la fonte) et des métaux non ferreux (par exemple le cuivre); ils peuvent aussi être utilisés comme fours de maintien pour charge liquide qu'il faut surchauffer pour la maintenir à température avant coulée.

L'objet de la présente publication est de normaliser les conditions d'essai des fours à arc et les méthodes pour déterminer les principaux paramètres et les caractéristiques techniques de fonctionnement.

NOTE 1 Ces essais sont réalisés indépendamment de la condition des équipements de compensations.

Le domaine d'application de cette norme ne couvre pas toutes les méthodes d'essai possibles qui peuvent être effectuées pour l'estimation technique et économique des fours à arc.

NOTE 2 Les conditions d'essais complémentaires peuvent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

Les essais pour des équipements spéciaux des fours à arc direct à courant continu, tels que les redresseurs commandés sont couverts par la CEI 60146-1-1.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050(841):1983, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 841: Electrothermie industrielle*

CEI 60146-1-1:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base*

CEI 60398:1999, *Chauffage électrique industriel – Méthodes générales d'essai*

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INDUSTRIAL ELECTROHEATING EQUIPMENT – TEST METHODS FOR DIRECT ARC FURNACES

1 Scope and object

This International Standard applies to industrial three-phase direct arc furnaces, the rated capacity of which is equal to, or greater than, 500 kg. The furnaces are suitable both for solid and liquid charges at or near internal atmospheric pressure.

This standard is also applicable to furnaces having one or more electrodes, other than three-phase furnaces, in so far as it applies.

These furnaces are intended for the melting of ferrous metals (for example, steel, cast iron) and non-ferrous metals (for example, copper); they may also be used as holding furnaces for a liquid charge to superheat and maintain the temperature before tapping.

The object of this publication is the standardization of arc furnace test conditions and of methods to determine the main parameters and technical operating characteristics.

NOTE 1 These tests are to be executed independently of the status of compensating equipment.

The scope of this standard does not cover all possible test methods which may be carried out for the technical and economic assessment of arc furnaces.

NOTE 2 Complementary test conditions may be agreed between manufacturer and user.

Tests for some special equipment for d.c. direct arc furnaces such as controlled rectifiers are covered by IEC 60146-1-1.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050(841):1983, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 841: Industrial electroheating*

IEC 60146-1-1:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC 60398:1999, *Industrial electroheating installations – General test methods*

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions de la CEI 60050-841, dont certaines sont reproduites ci-après, aussi bien que les définitions suivantes, s'appliquent.

3.1
four à arc
four dans lequel l'arc électrique est la principale source de chaleur

[VEI 841-04-27]

3.2
four à arc direct
four à arc dans lequel l'arc est entretenu entre la charge et une ou plusieurs électrodes

[VEI 841-04-28]

3.3
installation du four à arc
ensemble du four avec l'équipement électrique complet comprenant

a) le circuit électrique principal constitué de
   - l'appareillage à haute tension;
   - la bobine d'inductance à courant alternatif (s'il y a lieu);
   - le transformateur du four;
   - la ligne à haute intensité (côté secondaire);
   - le redresseur commandé et la bobine d'inductance à courant continu (uniquement applicable aux fours à arc direct à courant continu);
   - les électrodes, arc et charge n'étant pas des parties de l'installation du four à arc;
b) le matériel pour la commande des paramètres électriques, tel que panneaux, pupitres, bureaux avec les dispositifs de protection, de commande, de mesure et de signalisation

3.4
cuve de four à arc
enceinte en acier dont le fond et les parois latérales sont en général garnis de réfractaire et destinée à recevoir la charge

[VEI 841-04-43]

3.5
volume assigné du four
volume total intérieur délimité par la surface interne du revêtement spécifié de la cuve du four

NOTE Le volume entre le niveau supérieur de la cuve et la partie inférieure de la voûte n'est pas inclus dans le volume assigné.

3.6
capacité assignée du four
capacité calculée en tonnes de métal liquide pour laquelle le four est conçu, construit et marqué

NOTE 1 Cette capacité est définie avec le revêtement spécifié, fabriqué conformément à la conception initiale, compte tenu d'un volume maximal prévu de laitier au-dessus de la surface du métal liquide et limité au niveau normal de décrassage.

NOTE 2 Il convient que la masse volumique du métal liquide utilisée par le fabricant pour les calculs soit clairement définie.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the definitions of IEC 60050-841, some of which are reproduced below, as well as the following definitions, apply.

3.1
arc furnace
furnace in which the electric arc is the main source of heat

[IEV 841-04-27]

3.2
direct arc furnace
arc furnace in which the arc is maintained between the charge and one or more electrodes

[IEV 841-04-28]

3.3
arc furnace installation
furnace assembly with a complete set of electrical equipment comprising

a) main electrical circuit consisting of
   - high-voltage equipment;
   - a.c. reactor (if applicable);
   - furnace transformer;
   - high-current line (secondary side);
   - controlled rectifier and d.c. reactor (only applicable for d.c. direct arc furnaces);
   - electrodes, arc and charge not being parts of the arc furnace installation;

b) equipment for control of the electrical parameters, such as boards, panels, desks with protection, control, measuring and signalling devices

3.4
arc furnace shell
steel constructed vessel usually with refractory lined bottom and side walls into which the charge is placed

[IEV 841-04-43]

3.5
rated volume of the furnace
total internal volume of the furnace body as defined by the inner surface of the specified shell lining

NOTE The volume between the upper level of the shell and the underside of the roof is not included in the rated volume.

3.6
rated capacity of the furnace
calculated capacity in tonnes of liquid metal for which the furnace has been designed, built and marked

NOTE 1 This capacity is defined with the specified shell lining, manufactured in accordance with the design, with allowance for the maximum expected slag volume over the liquid metal surface without exceeding the normal sill level.

NOTE 2 The specific density of the liquid metal used by the manufacturer for the calculations should be clearly defined.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.7
masse volumique minimale de ferraille pour le chargement complet maximal du four (t/m^3)
rapport entre la capacité assignée du four et son volume assigné

3.8
disjoncteur haute tension du four
disjoncteur haute tension pour mettre en ou hors service, en charge, le transformateur de four, conformément aux prescriptions de fonctionnement

3.9
transformateur de four à arc
transformateur alimentant un four à arc dont le circuit primaire est raccordé au réseau à haute tension et qui fournit au secondaire une plage de tension appropriée au fonctionnement du four

[VEI 841-04-34]

3.10
puissance assignée du transformateur de four à arc
puissance maximale admissible en régime continu au primaire du transformateur de four à arc

[VEI 841-04-12, modifié]

3.11
puissance de fusion d'un transformateur de four à arc
puissance maximale admissible du transformateur de four à arc avec un temps d'enclenchement limité à la fusion (en tenant compte de la répétition du cycle de fonctionnement durant les fusions successives)

NOTE Le temps de maintien de la puissance de fusion est au moins égal au temps net de maintien du réseau de puissance (voir 3.22).

3.12
bobine d'inductance de four à arc
inductance parfois connectée en série dans le circuit primaire du transformateur d'un four à arc afin de limiter le courant de court-circuit et d'assurer la stabilité de l'arc dans chaque phase du processus de fusion et d'affinage

[VEI 841-04-35, modifié]

3.13
inductance saturable
ensemble d'enroulements à courant alternatif inductifs à noyaux magnétiques saturables et enroulements de commande à courant continu dont l'enroulement à courant alternatif est connecté en série avec le circuit primaire du transformateur de four à arc afin de contrôler le courant d'arc

NOTE Voir la figure 3 par exemple.

3.14
inductance à courant continu (applicable seulement aux fours à arc directs à courant continu)
inductance dans la ligne à courant continu des fours à arc direct à courant continu pour le lissage et la stabilisation du courant continu

3.15
redresseur commandé (applicable uniquement aux fours à arc direct à courant continu)
redresseur utilisant des diodes et des dispositifs à semi-conducteurs commandés, connectés au côté secondaire du ou des transformateurs

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.7
minimum bulk density of scrap for the single complete maximum charge of the furnace (t/m^3)
ratio of the furnace rated capacity to its rated volume

3.8
furnace high-voltage switch
high-voltage switch for switching on and off, under load, the furnace transformer, in accordance with operating requirements

3.9
arc furnace transformer
transformer feeding the arc furnace from the high-voltage network and providing a voltage range suitable for the furnace operation

[IEV 841-04-34]

3.10
power rating of an arc furnace transformer
maximum admissible continuous power of the arc furnace transformer primary

[IEV 841-04-12, modified]

3.11
melt-down power of an arc furnace transformer
maximum admissible power of the arc furnace transformer with limited on-time during melting (taking into account repetition of the load cycle during subsequent melts)

NOTE The limited on-time of melt-down power is at least equal to the net power-on time (see 3.22).

3.12
arc furnace reactor
inductive winding, sometimes connected in series with the primary circuit of the arc furnace transformer in order to limit the short-circuit current and ensure arc stability for each stage of the melting and refining process

[IEV 841-04-35, modified]

3.13
saturable reactor
set of inductive a.c. windings with saturable magnetic cores and d.c. control windings with the a.c. winding being connected in series with the primary circuit of the arc furnace transformer in order to control the arc current

NOTE For example, see figure 3.

3.14
d.c. reactor (only applicable for d.c. direct arc furnaces)
reactor in the d.c. current line of the d.c. direct arc furnaces for smoothing and stabilizing the d.c. current

3.15
controlled rectifier (only applicable for d.c. direct arc furnaces)
rectifier using controlled semiconductor devices and diodes connected to the secondary side of the transformer(s)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.16
électrode d'un four à arc
a) électrode(s) supérieure(s)

pièce conductrice, généralement en graphite, reliée à une source de courant et dont une extrémité assure le passage du courant d'arc vers la charge

b) électrode de sole (uniquement applicable aux fours à arc direct à courant continu)

élément qui est installé dans la cuve inférieure du four et est raccordé à la ligne à haute intensité du four pour s'assurer que le courant parcourt la fusion par l'intermédiaire de l'arc vers l'(es)électrode(s) supérieure(s)

3.17
pince d'électrode de four à arc
pièce métallique servant à supporter une électrode et à assurer le contact électrique

[VEI 841-04-58, modifié]

3.18
ligne à haute intensité
ensemble d'éléments du circuit secondaire connecté en série comprenant les électrodes et le système de jeu de barre secondaire et destiné à fournir la puissance électrique du transformateur (ou le redresseur commandé) aux matériaux chargés

3.19
facteur de dissymétrie du côté primaire (%) (non applicable aux fours à arc direct à courant continu)
rapport en pourcentage de la différence entre l'impédance de phase maximale et minimale, y compris le transformateur de four et la ligne à haute intensité, à l'impédance moyenne de toutes les phases

NOTE Pour les formules et les mesures, voir 5.5.4.

3.20
puissance active du circuit électrique principal de l'installation du four à arc
puissance active totale des trois phases du circuit électrique principal de l'installation du four à arc

NOTE 1 La valeur instantanée de la puissance active peut être mesurée à tout moment, la mesure étant effectuée simultanément sur les trois phases.

NOTE 2 La valeur moyenne de la puissance active pendant une période donnée (par exemple, pendant le temps net de maintien de la puissance) peut être obtenue en divisant l'énergie électrique consommée, exprimée en kilowatt heures, par la durée de l'enclenchement mesurée en heures.

3.21
consommation d'énergie électrique spécifique pour la fusion (kWh/t)
quantité d'énergie électrique, exprimée en kilowatt heures, consommée par le circuit électrique principal d'une installation de four à arc pour la fusion complète d'une tonne de métal coulé à partir d'une charge spécifiée du four

3.22
temps net de maintien de la puissance (t_m)
période de temps mesurée entre le moment d'enclenchement du four chargé et le moment où la fusion de la charge est complète, déduction faite du temps d'interruption de marche du four (chargement additionnel, remplacement d'électrodes, rotation de la cuve du four, arrêt d'urgence, etc.)

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.16
electrode of an arc furnace
a) upper electrode(s)

conductive piece, generally of graphite, which is connected to a source of current while one end of the same ensures the passage of the arc current to the charge

b) bottom electrode (only applicable for d.c. direct arc furnaces)

element which is installed in the lower furnace shell and connected to the high-current line of the furnace to make sure that the current flows through the melt via the arc to the upper electrode(s)

3.17
arc furnace electrode clamp
metallic device which carries the electrode and ensures electrical contact

[IEV 841-04-58, modified]

3.18
high-current line
assembly of series-connected elements of the secondary circuit comprising electrodes and secondary voltage busbar system intended to carry the required electrical power from the transformer (or the controlled rectifier) to the charge material

3.19
asymmetry factor on primary side (%) (not applicable for d.c. direct arc furnaces)
percentage ratio of the difference between the maximum and minimum phase impedance, including furnace transformer and high-current line, to the mean impedance of all the phases

NOTE For formulae and measurements, see 5.5.4.

3.20
active power of main electrical circuit of arc furnace installation
total active power of the three phases of the main electrical circuit of the arc furnace installation

NOTE 1 Instantaneous value of active power may be measured at any moment, simultaneously on the three phases.

NOTE 2 Mean value of active power within a definite time interval (for example, within the net power-on time) may be obtained as a result of division of consumed electric energy measured in kilowatt-hours by the duration of the time it is switched on, measured in hours.

3.21
specific electric energy consumption for melting (kWh/t)
quantity of electric energy measured in kilowatt-hours consumed by the main electrical circuit of an arc furnace installation for the complete melting of one tonne of tapped metal from a specified furnace charge

3.22
net power-on time (t_m)
time period measured from the moment of switching on after charging to the moment of complete melt-down of the whole charge, with subtraction of the time the furnace is switched off (additional charging, electrode replacement, turning furnace shell, emergency disconnection, etc.)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.23
taux spécifique de production (t/h)
rapport entre la quantité totale de liquide, mesurée en tonnes, et le temps net de maintien de la puissance mesuré en heures

NOTE Pour définir le temps net de maintien de la puissance, voir 3.22.

3.24
facteur de puissance du circuit électrique principal de l'installation du four à arc
la valeur du facteur de puissance est déterminée à partir de la formule suivante (se reporter à 1.5.26.1 de la CEI 60146-1-1):

$$\lambda = \frac{P}{S} \tag{1}$$

où

P est la puissance active;

S est la puissance apparente.

Le facteur de puissance de l'onde fondamentale cos φ_1, ou facteur de déplacement, est déterminé par la formule suivante (se reporter à 1.5.26.2 de la CEI 60146-1-1):

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \tag{1A}$$

où

P_1 est la puissance active de l'onde fondamentale;

S_1 est la puissance apparente de l'onde fondamentale.

NOTE 1 Du fait de la présence éventuelle d'harmoniques, la mesure de facteur de puissance n'est pas nécessairement rigoureuse.

NOTE 2 La valeur instantanée du facteur de puissance peut être obtenue à tout moment en mesurant simultanément les puissances actives et réactives.

NOTE 3 La valeur du facteur de puissance pendant une période donnée (par exemple pendant le temps net de maintien de la puissance) peut être déterminée à partir de la formule suivante:

$$\lambda \approx \frac{E_P}{\sqrt{E_P^2 + E_Q^2}} \tag{1B}$$

où

E_P est la consommation d'énergie active pendant une période donnée;

E_Q est la consommation d'énergie réactive pendant la même période.

3.25
débit d'eau de refroidissement (m^3/h)
complément pour les débits suivants:

a) le débit d'eau pour refroidir la cuve et la voûte du four;

b) le débit d'eau pour refroidir la ligne à haute intensité;

c) le débit d'eau pour le refroidissement du transformateur du four;

d) le débit d'eau pour le refroidissement de tout autre équipement appartenant à l'installation du four, y compris les dispositifs d'évacuation et d'épuration de fumées

3.26
court-circuit de fonctionnement
contact électrique d'une, de deux ou de trois électrodes sous tension avec la charge solide ou liquide

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.23
specific production rate (t/h)
total quantity of tapped metal measured in tonnes, divided by the net power-on time measured in hours

NOTE For the net power-on time, see 3.22.

3.24
power factor of main electrical circuit of arc furnace installation
the value of the power factor is determined from the following formula (refer to 1.5.26.1 of IEC 60146-1-1):

$$\lambda = \frac{P}{S} \tag{1}$$

where

P is the active power;

S is the apparent power.

The power factor of the fundamental wave cos φ_1, or displacement factor, is determined from the following formula (refer to 1.5.26.2 of IEC 60146-1-1):

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \tag{1A}$$

where

P_1 is the active power of the fundamental wave;

S_1 is the apparent power of the fundamental wave.

NOTE 1 Because of the possible presence of harmonics, the measurement of the power factor is not necessarily correct.

NOTE 2 The instantaneous value of the power factor may be obtained by simultaneously measuring the active and reactive power at any time.

NOTE 3 The value of the power factor over a definite period of time (for example, during the net power-on time) may be determined from the following formula:

$$\lambda \approx \frac{E_\mathrm{P}}{\sqrt{E_\mathrm{P}^2 + E_\mathrm{Q}^2}} \tag{1B}$$

where

E_P is the active electric energy measured for a definite period of time;

E_Q is the reactive electric energy measured for the same period of time.

3.25
cooling-water flow rate (m^3/h)
addition of the following flow rates:

a) flow rate of water to cool furnace shell and roof;

b) flow rate of water to cool high-current line;

c) flow rate of water to cool the furnace transformer;

d) flow rate of water to cool the other equipment, belonging to the furnace installation, including fume extraction and cleaning systems

3.26
operational short circuit
electrical contact of one, two or three live electrodes with the solid or liquid charge

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.27
état froid de l'installation du four à arc
état thermique du four et de son installation lorsque la température de tous ses éléments est égale à la température ambiante

3.28
état chaud du four
état thermique d'un four à arc dans lequel les composants se trouvent à leur température de fonctionnement ou température constante et la charge (le cas échéant) a atteint sa température en régime établi ou sa répartition de température prévue

3.29
rotation de phase
séquence de phases du champ électromagnétique dans le four observée du dessus du four

4 Type des essais et conditions générales d'exécution

4.1 Liste des essais

Pour vérifier les conditions de fonctionnement d'une installation, il est recommandé de procéder aux essais suivants, dans l'ordre indiqué:

a) mesure de la résistance d'isolement électrique de la ligne à haute intensité (voir 5.1);

b) mesure du débit d'eau de refroidissement et des pertes thermiques (voir 5.2);

c) mesure de la vitesse de déplacement des électrodes (voir 5.3);

d) vérification de la capacité assignée du four (voir 5.4);

e) essai de court-circuit en fonctionnement normal (voir 5.5);

f) détermination du facteur de dissymétrie du côté primaire (voir 5.5.5);

g) détermination des caractéristiques principales de fonctionnement pendant le temps net de maintien de la puissance (voir 5.6):

- consommation d'énergie électrique spécifique pendant le temps net de maintien de la puissance (voir 5.6.2a));
- taux de production spécifique (voir 5.6.2b));
- facteur de puissance (voir 5.6.2c));
- temps net de maintien de puissance (voir 5.6.2d));
- usure spécifique des électrodes (voir 5.7);

h) vérification du sens de rotation des phases (voir 5.8).

NOTE Il est recommandé d'effectuer les essais spécifiés aux points a) à c) sur tous les fours nouvellement installés ou reconstruits, du fait que ces essais permettent non seulement de vérifier la conception correcte du four, mais aussi de vérifier la qualité de sa fabrication et de son montage.

Les essais spécifiés aux points d) à h) ne sont pas nécessaires si les données correspondantes sont fournies dans la documentation technique du four à arc et si elles sont garanties par le fabricant du four; cependant, ces essais sont effectués s'il existe une certaine divergence entre les données techniques et les données réelles obtenues pendant le fonctionnement du four.

Tout équipement est spécifié et permet un essai de court-circuit en charge.

Il convient de remplir des conditions d'essais particulières pour les inductances saturables.

4.2 Conditions générales d'exécution des essais

Ces essais doivent être réalisés conformément aux spécifications de la CEI 60398.

Le four doit être préparé pour les essais et mis en marche chez l'utilisateur, conformément aux instructions de service et aux prescriptions de sécurité du travail.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.27
cold state of arc furnace installation
thermal state of furnace and its installation when the temperature of all the parts equals the ambient temperature

3.28
hot state of furnace
thermal state of an arc furnace in which the components are at their operating or steady temperature and the charge (if any) has attained its steady-state temperature or its intended temperature distribution

3.29
phase rotation
phase sequence of the electromagnetic field in the furnace seen from the top of the furnace

4 Type of tests and general conditions of their performance

4.1 List of tests

To check the operating conditions of an installation the following tests, carried out in the order specified, are recommended:

a) measurement of electrical insulation of the high-current line (see 5.1);
b) measurement of cooling-water flow rate and heat losses (see 5.2);
c) measurement of the speed of the electrode motion (see 5.3);
d) check of the rated capacity of the furnace (see 5.4);
e) carrying out a short-circuit test during normal operation (see 5.5);
f) determination of the asymmetry factor on the primary side (see 5.5.5);
g) determination of the main operating characteristics during the net power-on time (see 5.6):
   - specific electric energy consumption during the net power-on time (see 5.6.2a));
   - specific production rate (see 5.6.2b));
   - power factor (see 5.6.2c));
   - net power-on time (see 5.6.2d));
   - specific electrode wear (see 5.7);
h) phase rotation check (see 5.8).

NOTE It is recommended that the tests specified in items a) to c) be carried out on all newly installed or reconstructed furnaces, as these tests give the opportunity not only to check the correct furnace construction, but also to check the quality of furnace manufacture and mounting.

The tests specified in items d) to h) need not be carried out if the corresponding data are given in the technical documentation of the arc furnace and are guaranteed by the furnace manufacturer; however, these tests are carried out if there is some discrepancy between the technical data and the actual data obtained during furnace operation.

All equipment is specified and capable of permitting an on-load short-circuit test.

Special test conditions should be fulfilled for saturable reactors.

4.2 General conditions of test performance

Performance of the tests shall be in accordance with the specifications of IEC 60398.

The furnace shall be prepared for tests and put into operation at the user's site, in accordance with the service instructions and the requirements for safe working.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Le réseau électrique alimentant l'installation du four pendant les essais doit assurer une symétrie de tension.

NOTE Les fours à arc électrique sont différents en termes de couplage des enroulements du ou des transformateurs, de conception de ligne à haute intensité, de type et disposition de tension et transformateurs de courant. Par conséquent, il convient que la méthode de mesure soit adaptée aux réalités techniques. Il convient de présenter dans le rapport d'essais, le type de matériel de mesure, ainsi que la disposition et l'organisation des points de mesure.

5 Recommandations sur les essais techniques

5.1 Mesure de l'isolement électrique de la ligne à haute intensité

L'essai doit être effectué sur un système hors tension en ayant mis les électrodes en place et en les faisant passer à travers les orifices de la voûte d'un four vide, à l'état froid, sur l'installation complète du four sans eau.

Le transformateur (ou le redresseur commandé) doit être déconnecté de la ligne à haute intensité pendant l'essai pour éviter les détériorations au niveau du transformateur (ou du redresseur commandé).

L'essai doit être effectué au moyen d'un mégohmmètre conformément à 7.1.2 et 7.1.3 de la CEI 60398:

a) lors de l'essai sur l'installation du four sans raccordement des câbles souples, la mesure de la résistance d'isolement doit être effectuée séparément entre chaque phase et la carcasse métallique du four mise à la terre. La valeur mesurée minimale d'isolement doit être d'au moins 1 000 kΩ;

b) lors de l'essai sur l'installation du four à raccordement des câbles souples, la mesure de la résistance d'isolement doit être effectuée entre les trois phases connectées entre elles et la carcasse métallique du four mise à la terre. La valeur minimale mesurée d'isolement doit être d'au moins 100 kΩ.

NOTE 1 Les électrodes de sole sont déconnectées pendant les essais.

NOTE 2 Il convient que l'essai d'isolement de l'électrode ou des électrodes de sole fasse l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

NOTE 3 Pour les essais sans eau de refroidissement, les essais d'isolement sont réalisés sans tuyau flexible d'eau de refroidissement.

5.2 Mesure du débit d'eau de refroidissement et des pertes thermiques

Le but de cet essai est de vérifier le débit d'eau de refroidissement prévu en service normal par le fabricant.

L'essai doit être effectué lorsque le four est à l'état chaud (voir 3.28) pendant la période de production. La pression, la température et les propriétés de l'eau de refroidissement doivent correspondre aux prescriptions données dans la documentation technique par le fabricant.

Le débit de l'eau de refroidissement est déterminé selon la formule suivante:

$$q = \frac{Q_{\mathrm{m}}}{t}\ (\mathrm{m^3/h}) \qquad (2)$$

où

Q_{m} est la quantité d'eau mesurée ($\mathrm{m^3}$);

t est le laps de temps pendant lequel la quantité d'eau circule à travers un circuit de refroidissement séparé (h).

Pendant l'essai il est souhaitable de déterminer les propriétés de l'eau de refroidissement (dureté, quantité de particules en suspension, etc.) et de les comparer avec celles recommandées par le fabricant. A partir du débit mesuré et des écarts de températures, il convient de calculer les pertes thermiques.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The mains supply to the furnace installation during tests shall ensure symmetry of voltages.

NOTE Electric arc furnaces are different in terms of vector groups of transformer(s), design of high-current line, type and arrangement of voltage and current transformers. Therefore, the method of measuring should be adapted to the technical realities. The type of the measurement equipment as well as the layout and arrangement of the measurement points should be shown in the report of the tests.

5 Recommendations on technical tests

5.1 Measurement of electrical insulation of high-current line

The test shall be carried out on the de-energized system with the electrodes completely mounted and passing through portholes in the roof of an empty furnace, in the cold state, on the complete furnace installation without water.

The transformer (or the controlled rectifier) shall be disconnected from the high current line during the test to avoid damages at the transformer (or the controlled rectifier).

The test shall be carried out by means of a megohmmeter in accordance with 7.1.2 and 7.1.3 of IEC 60398:

a) in the test on the furnace installation without flexible cables the measurement of the insulation value is carried out separately between each phase and the earthed steel structure of the furnace. The minimum measured value of the isolation shall be at least 1 000 kΩ;

b) in the test on the furnace installation with flexible cables the measurement of the insulation value is carried out between all three electrically connected phases and the earthed steel structure of the furnace. The minimum measured value of the isolation shall be at least 100 kΩ.

NOTE 1 The bottom electrodes are disconnected during the tests.

NOTE 2 The insulation test of the bottom electrode(s) should be agreed between manufacturer and user.

NOTE 3 For tests without cooling water, the insulation tests are carried out without hoses for cooling water.

5.2 Measurement of cooling-water flow rate and heat losses

The purpose of this test is to check the cooling-water flow rate as foreseen by the manufacturer during normal operation.

The test shall be carried out when the furnace is in the hot state (see 3.28) during the production period. The pressure, temperature and properties of the cooling water shall correspond to the requirements given in the technical documentation by the manufacturer.

The cooling-water flow rate is determined from the formula:

$$q = \frac{Q_{\mathrm{m}}}{t}\ (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}) \qquad (2)$$

where

Q_{m} is the quantity of water measured (m^3);

t is the period of time during which the quantity of water flows through a separate cooling branch (h).

During the test, it is desirable to determine the cooling-water properties (hardness, quantity of suspended particles, etc.) and compare them with the manufacturer's recommendations. From the measured flow-rate and temperature differences the heat losses should be calculated.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.3 Mesure de la vitesse de déplacement des électrodes

La mesure est effectuée à l'aide d'une commande manuelle du système de déplacement des électrodes en deux sens.

NOTE La mesure peut être faite avec une autre méthode, par exemple en utilisant une commande à signaux électriques.

La mesure de la vitesse de déplacement est effectuée séparément sur chaque électrode et ensuite sur les trois ensemble au moyen d'une montre chronographe (ou d'une commande en base de temps électronique) indiquant la distance couverte par le bras de l'électrode par rapport à son support fixe.

5.4 Vérification de la capacité assignée du four

Le four, ayant un garnissage conforme aux prescriptions du fabricant, est rempli par une quantité de matériau dont la qualité a été convenue entre le fabricant et l'utilisateur en vue d'obtenir une quantité de métal liquide égale à la capacité assignée. La charge est fondue, affinée et décrassée conformément à une procédure convenue entre le fabricant et l'utilisateur. La quantité totale de métal liquide est ensuite coulée jusqu'à ce que le four soit complètement vide, et il convient qu'elle ne soit pas inférieure à la capacité assignée du four. Pour les fours avec coulée par le fond, la quantité adéquate de métal en fusion peut être lâchée dans le four comme «fond chaud» avant la charge suivante.

5.5 Essai de court-circuit en fonctionnement normal (non applicable aux fours à arc direct à courant continu)

5.5.1 Généralités

Pour obtenir les valeurs de la résistance et de réactance de la ligne à haute intensité et du facteur de dissymétrie du côté primaire, les mesures sont effectuées du côté primaire du transformateur et les résultats sont convertis en valeurs ramenées au secondaire.

5.5.2 Détermination de la résistance et de la réactance de la ligne à haute intensité

Les mesures sont effectuées pendant les courts-circuits monophasés en fonctionnement normal avec une tension sinusoïdale du côté primaire. On détermine les courants, les tensions et les pertes de puissance du four. La mesure doit être effectuée après la fusion et/ou après la surchauffe. Les circuits d'essai possibles sont représentés à la figure 1 et à la figure 2. Une autre méthode valable peut être utilisée par accord mutuel entre le fabricant et l'utilisateur.

NOTE 1 Le circuit de courant des appareils de mesure ainsi que les appareils d'équipement du four raccordés aux transformateurs de courant – dans les circuits desquels on a également placé les appareils de mesure pour l'essai de court-circuit – peuvent être shuntés avant l'essai lorsque la charge des transformateurs de courant est dépassée. Au cours de l'essai, les pinces des électrodes actives du four sont placées au même niveau, de préférence le plus bas possible. La précision des appareils de mesure utilisés peut ne pas être de classe inférieure à 0,5 (il convient d'étalonner les wattmètres à bas facteur de puissance).

NOTE 2 Il convient de veiller à réduire le flux magnétique dans le noyau du transformateur pour éviter la saturation.

NOTE 3 Dans le cas d'inductances saturables, il convient de prendre des dispositions particulières. Les valeurs de réactance et de résistance des fours à arc sont significatives uniquement pour les courants sinusoïdaux.

5.5.3 Traitement des couplages des enroulements autres que Dd 0 (delta/delta sans déphasage)

L'équipement du four doit permettre les mesures des courants secondaires avec les instruments correspondants. Du fait que les bobines de Rogowski sont fréquemment utilisées pour mesurer les courants BT, on doit les équiper d'une unité d'intégration et d'un amplificateur, qui fournit un signal de déphasage correct. Ainsi, pendant les mesures, les signaux BT sont disponibles et peuvent confirmer les mesures HT. Les transformateurs d'adaptation représentent une autre possibilité pour fournir l'image des valeurs HT pour le côté BT. Il faut alors tenir compte du couplage des enroulements, ainsi que de la prise du transformateur. Dans les deux cas, les valeurs BT mesurées peuvent être utilisées pour les calculs.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.3 Measurement of the speed of electrode motion

The measurement is made with manual control of the moving system of the electrodes in two directions.

NOTE The measurement may be made by another method, for example, using electric signal control.

The measurement of the speed of motion is carried out separately on each electrode and then on all three together by means of a stop-watch (or electronic time-base control), noting the distance covered by the electrode arm relative to its fixed support.

5.4 Check of the rated capacity of the furnace

The furnace, lined according to the manufacturer's requirements, is charged with material, the quality of which is agreed between manufacturer and user so as to obtain a quantity of liquid metal equal to the rated capacity. The charge is melted, refined and slagged according to a procedure agreed between manufacturer and user. The volume of slag shall conform with that required. The total quantity of liquid metal, which is tapped when completely emptying the furnace, should not be less than the rated capacity of the furnace. For furnaces with bottom tapping, the adequate quantity of molten metal should be left in the furnace as “hot heel” before the next charge.

5.5 Carrying out a short-circuit test during normal operation (not applicable for d.c. direct arc furnaces)

5.5.1 General

To obtain the values of the resistance and reactance of the high-current line and asymmetry factor on the primary side, the measurements are performed on the primary side of the transformer and the results are converted to the secondary-based value.

5.5.2 Determination of resistance and reactance of the high-current line

The measurements are made during the phase short circuits during normal operation under sinusoidal voltage at the primary side. The furnace currents, voltages and power losses are determined after melt-down and/or after superheating. Possible test circuits are shown in figure 1 and in figure 2. A suitable alternative method may be used by mutual agreement between manufacturer and user.

NOTE 1 The current circuit of meters, and the equipment apparatus connected to the current transformers in the circuits of which are also inserted meters used for the short-circuit test, can be shunted before the test when the load of the current transformers is exceeded. During the test, the clamps of the active furnace electrodes are placed at the same height, preferably as low as possible. The accuracy of the measuring instruments used may not be lower than Class 0,5 (wattmeters should be calibrated at low power factor).

NOTE 2 Care should be taken to reduce the magnetic flux in the transformer core to avoid saturation.

NOTE 3 In case of saturable reactors special provisions should be taken. The arc furnace reactance and resistance values are significant only for sinusoidal currents.

5.5.3 Treatment of vector groups other than Dd 0 (delta/delta without phase shift)

The furnace equipment shall allow the measurements of the secondary currents with relevant instruments. Since Rogowski coils are frequently used to measure the LV currents, these shall be equipped with an integrator unit and an amplifier, which delivers a correct phase shift signal. Hence, during the measurements, the LV signals are available and can support the HV measurements. Adaptation transformers represent an alternative possibility to image the HV values to the LV side. These are to adapt the vector group as well as the transformer tap. In both cases, the measured LV values can be used for calculations.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.5.4 Procédure d'essai

Avant l'essai, le transformateur du four à arc doit être mis en service sur une prise suffisamment basse (et la bobine d'inductance mise en service, si elle existe) pour s'assurer que le courant du four dans les conditions de court-circuit triphasé en service, est aussi voisin que possible du courant assigné secondaire du four. Les électrodes doivent ensuite être abaissées pour que leurs extrémités plongent dans le métal liquide à une profondeur permettant un court-circuit (généralement à la moitié ou aux deux tiers du diamètre de l'électrode), puis immobilisées.

On doit lire les indications des appareils de mesure lorsque les oscillations des aiguilles ont cessé.

Les essais doivent être effectués au moins deux fois. Pour chaque essai, la résistance et la réactance de chaque phase de la ligne à haute intensité sont déterminées à partir des formules suivantes:

Mesure du côté primaire

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}, P_{1A}, P_{1B}, P_{1C} conformément à la figure 1

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, U_{1AB}, U_{1AC}, U_{1BC}, P_{1AB}, P_{1BC} conformément à la figure 2

Calculs des valeurs primaires

$\sum P = P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}$ conformément à la figure 1 et $\sum P = P_{1AB} + P_{1BC}$ conformément à la figure 2 (3)

Electrode d'essai de court-circuit A et B plongée

$$R_{1AB} = \frac{4\sum P}{(I_{1A} + I_{1B})^2} \qquad Z_{1AB} = \frac{2U_{1AB}}{I_{1A} + I_{1B}} \qquad X_{1AB} = \sqrt{Z_{1AB}^2 - R_{1AB}^2} \tag{4}$$

Electrode d'essai de court-circuit B et C plongée

$$R_{1BC} = \frac{4\sum P}{(I_{1B} + I_{1C})^2} \qquad Z_{1BC} = \frac{2U_{1BC}}{I_{1B} + I_{1C}} \qquad X_{1BC} = \sqrt{Z_{1BC}^2 - R_{1BC}^2} \tag{5}$$

Electrode d'essai de court-circuit A et C plongée

$$R_{1AC} = \frac{4\sum P}{(I_{1A} + I_{1C})^2} \qquad Z_{1AC} = \frac{2U_{1AC}}{I_{1A} + I_{1C}} \qquad X_{1AC} = \sqrt{Z_{1AC}^2 - R_{1AC}^2} \tag{6}$$

NOTE 1 Dans le cas de la tension de mesure U_{1A} , U_{1B} et U_{1C} au lieu de U_{1AB}, U_{1AC} et U_{1BC} la valeur des tensions entre phases peut être calculée par analyse des schémas de vecteur des trois essais de court-circuit monophasés.

Analyse commune pour trois essais de court-circuit monophasés:

$$R_{1A} = \frac{R_{1AB} + R_{1AC} - R_{1BC}}{2} \qquad R_{1B} = \frac{R_{1AB} + R_{1BC} - R_{1AC}}{2} \qquad R_{1C} = \frac{R_{1BC} + R_{1AC} - R_{1AB}}{2} \tag{7}$$

$$X_{1A} = \frac{X_{1AB} + X_{1AC} - X_{1BC}}{2} \qquad X_{1B} = \frac{X_{1AB} + X_{1BC} - X_{1AC}}{2} \qquad X_{1C} = \frac{X_{1BC} + X_{1AC} - X_{1AB}}{2} \tag{8}$$

$$Z_{1A} = \sqrt{R_{1A}^2 + X_{1A}^2} \qquad Z_{1B} = \sqrt{R_{1B}^2 + X_{1B}^2} \qquad Z_{1C} = \sqrt{R_{1C}^2 + X_{1C}^2} \tag{9}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.5.4 Test procedure

Before the test, the arc furnace transformer shall be switched to suitably low tapping (reactor inserted, when installed) to ensure that the furnace current under the three-phase operational short-circuit conditions are as close as possible to the rated secondary current of the furnace. The electrodes shall then be lowered to dip their ends into the liquid metal to a depth allowing for a complete short circuit (usually to half or to two-thirds of the electrode diameter), and fixed.

The measuring instruments shall be read after the swings of the needles have steadied down.

The tests are carried out at least twice. For every test, the resistance and the reactance of each phase of the high-current line are derived from the following formulae:

Measurement on primary side

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}, P_{1A}, P_{1B}, P_{1C} according to figure 1

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, U_{1AB}, U_{1AC}, U_{1BC}, P_{1AB}, P_{1BC} according to figure 2

Calculations of primary values

$\sum P = P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}$ according to figure 1 and $\sum P = P_{1AB} + P_{1BC}$ according to figure 2 (3)

Short-circuit test electrode A and B dipped

$$R_{1AB} = \frac{4\sum P}{(I_{1A} + I_{1B})^2} \qquad Z_{1AB} = \frac{2U_{1AB}}{I_{1A} + I_{1B}} \qquad X_{1AB} = \sqrt{Z_{1AB}^2 - R_{1AB}^2} \tag{4}$$

Short-circuit test electrode B and C dipped

$$R_{1BC} = \frac{4\sum P}{(I_{1B} + I_{1C})^2} \qquad Z_{1BC} = \frac{2U_{1BC}}{I_{1B} + I_{1C}} \qquad X_{1BC} = \sqrt{Z_{1BC}^2 - R_{1BC}^2} \tag{5}$$

Short-circuit test electrode A and C dipped

$$R_{1AC} = \frac{4\sum P}{(I_{1A} + I_{1C})^2} \qquad Z_{1AC} = \frac{2U_{1AC}}{I_{1A} + I_{1C}} \qquad X_{1AC} = \sqrt{Z_{1AC}^2 - R_{1AC}^2} \tag{6}$$

NOTE 1 In the case of measuring voltage U_{1A}, U_{1B} and U_{1C} instead of U_{1AB}, U_{1AC} and U_{1BC} the value of phase-phase voltages can be calculated by analysis of the vector diagrams of the three single-phase short-circuit tests.

Common analysis for the three single-phase short-circuit tests:

$$R_{1A} = \frac{R_{1AB} + R_{1AC} - R_{1BC}}{2} \qquad R_{1B} = \frac{R_{1AB} + R_{1BC} - R_{1AC}}{2} \qquad R_{1C} = \frac{R_{1BC} + R_{1AC} - R_{1AB}}{2} \tag{7}$$

$$X_{1A} = \frac{X_{1AB} + X_{1AC} - X_{1BC}}{2} \qquad X_{1B} = \frac{X_{1AB} + X_{1BC} - X_{1AC}}{2} \qquad X_{1C} = \frac{X_{1BC} + X_{1AC} - X_{1AB}}{2} \tag{8}$$

$$Z_{1A} = \sqrt{R_{1A}^2 + X_{1A}^2} \qquad Z_{1B} = \sqrt{R_{1B}^2 + X_{1B}^2} \qquad Z_{1C} = \sqrt{R_{1C}^2 + X_{1C}^2} \tag{9}$$

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Rapport des tensions du transformateur de four

$$k_T = \frac{U_1}{U_2} \tag{10}$$

$$R_{2TA} \approx R_{2TB} \approx R_{2TC} \approx R_{2Tm} = \frac{P_{CuT}}{3 I_{2T}^2} \tag{11}$$

$$X_{2TA} \approx X_{2TB} \approx X_{2TC} \approx X_{2Tm} = \sqrt{\left(\frac{U_{2T}^2 u_{kT}}{100 S_T} \right)^2 - R_{2Tm}^2} \tag{12}$$

Ligne à haute intensité (tension secondaire) pour transformateurs de four avec couplage des enroulements Dd ou Yy (delta/delta ou étoile/étoile sans déphasage) (voir également 5.5.3)

$$R_A \approx \frac{R_{1A}}{k_T^2} - R_{2Tm} \qquad R_B \approx \frac{R_{1B}}{k_T^2} - R_{2Tm} \qquad R_C \approx \frac{R_{1C}}{k_T^2} - R_{2Tm} \tag{13}$$

$$X_A \approx \frac{X_{1A}}{k_T^2} - X_{2Tm} \qquad X_B \approx \frac{X_{1B}}{k_T^2} - X_{2Tm} \qquad X_C \approx \frac{X_{1C}}{k_T^2} - X_{2Tm} \tag{14}$$

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \qquad Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} \qquad Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \tag{15}$$

Analyse de l'essai de court-circuit triphasé pour le calcul des valeurs moyennes des impédances et réactances conformément à la figure 1

$$R_{1,\text{moyenne}} = \frac{1}{3} \left(\frac{P_{1A}}{I_A^2} + \frac{P_{1B}}{I_B^2} + \frac{P_{1C}}{I_C^2} \right) \tag{16}$$

$$X_{1,\text{moyenne}} = \frac{1}{3} \left[\sqrt{\left(\frac{U_{1A}}{I_{1A}} \right)^2 - \left(\frac{P_{1A}}{I_{1A}^2} \right)^2} + \sqrt{\left(\frac{U_{1B}}{I_{1B}} \right)^2 - \left(\frac{P_{1B}}{I_{1B}^2} \right)^2} + \sqrt{\left(\frac{U_{1C}}{I_{1C}} \right)^2 - \left(\frac{P_{1C}}{I_{1C}^2} \right)^2} \right] \tag{17}$$

$$Z_{1,\text{moyenne}} = \sqrt{R_{1,\text{moyenne}}^2 + X_{1,\text{moyenne}}^2} \tag{18}$$

Analyse des trois essais de court-circuit monophasé pour le calcul des valeurs moyennes des impédances et réactances conformément à la figure 2

$$U_{1\ \text{phase-terre, moyenne}} = \frac{U_{1AB} + U_{1AC} + U_{1BC}}{3\sqrt{3}} \tag{19}$$

$$I_{1,\text{moyenne}} = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3} \tag{20}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Furnace transformer voltage ratio

$$k_{\mathrm{T}} = \frac{U_1}{U_2} \tag{10}$$

$$R_{\mathrm{T2A}} \approx R_{\mathrm{T2B}} \approx R_{\mathrm{T2C}} \approx R_{\mathrm{2Tm}} = \frac{P_{\mathrm{CuT}}}{3\,I_{\mathrm{2T}}^2} \tag{11}$$

$$X_{\mathrm{2TA}} \approx X_{\mathrm{2TB}} \approx X_{\mathrm{2TC}} \approx X_{\mathrm{2Tm}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\mathrm{2T}}^2 u_{\mathrm{kT}}}{100 S_{\mathrm{T}}}\right)^2 - R_{\mathrm{2Tm}}^2} \tag{12}$$

High-current line (secondary voltage) for furnace transformers with vector group Dd or Yy (delta/delta or star/star without phase shift) (see also 5.5.3)

$$R_{\mathrm{A}} \approx \frac{R_{\mathrm{1A}}}{k_{\mathrm{T}}^2} - R_{\mathrm{2Tm}} \qquad R_{\mathrm{B}} \approx \frac{R_{\mathrm{1B}}}{k_{\mathrm{T}}^2} - R_{\mathrm{2Tm}} \qquad R_{\mathrm{C}} \approx \frac{R_{\mathrm{1C}}}{k_{\mathrm{T}}^2} - R_{\mathrm{2Tm}} \tag{13}$$

$$X_{\mathrm{A}} \approx \frac{X_{\mathrm{1A}}}{k_{\mathrm{T}}^2} - X_{\mathrm{2Tm}} \qquad X_{\mathrm{B}} \approx \frac{X_{\mathrm{1B}}}{k_{\mathrm{T}}^2} - X_{\mathrm{2Tm}} \qquad X_{\mathrm{C}} \approx \frac{X_{\mathrm{1C}}}{k_{\mathrm{T}}^2} - X_{\mathrm{2Tm}} \tag{14}$$

$$Z_{\mathrm{A}} = \sqrt{R_{\mathrm{A}}^2 + X_{\mathrm{A}}^2} \qquad Z_{\mathrm{B}} = \sqrt{R_{\mathrm{B}}^2 + X_{\mathrm{B}}^2} \qquad Z_{\mathrm{C}} = \sqrt{R_{\mathrm{C}}^2 + X_{\mathrm{C}}^2} \tag{15}$$

Analysis of three-phase short-circuit test for calculating mean values of impedances and reactances according to figure 1

$$R_{1,\mathrm{mean}} = \frac{1}{3}\left(\frac{P_{\mathrm{1A}}}{I_{\mathrm{A}}^2} + \frac{P_{\mathrm{1B}}}{I_{\mathrm{B}}^2} + \frac{P_{\mathrm{1C}}}{I_{\mathrm{C}}^2}\right) \tag{16}$$

$$X_{1,\mathrm{mean}} = \frac{1}{3}\left[\sqrt{\left(\frac{U_{\mathrm{1A}}}{I_{\mathrm{1A}}}\right)^2 - \left(\frac{P_{\mathrm{1A}}}{I_{\mathrm{1A}}^2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{U_{\mathrm{1B}}}{I_{\mathrm{1B}}}\right)^2 - \left(\frac{P_{\mathrm{1B}}}{I_{\mathrm{1B}}^2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{U_{\mathrm{1C}}}{I_{\mathrm{1C}}}\right)^2 - \left(\frac{P_{\mathrm{1C}}}{I_{\mathrm{1C}}^2}\right)^2}\right] \tag{17}$$

$$Z_{1,\mathrm{mean}} = \sqrt{R_{1,\mathrm{mean}}^2 + X_{1,\mathrm{mean}}^2} \tag{18}$$

Analysis of three single-phase short-circuit tests for calculating mean values of impedances and reactances according to figure 2

$$U_{1\ \mathrm{phase\text{-}ground,\ mean}} = \frac{U_{\mathrm{1AB}} + U_{\mathrm{1AC}} + U_{\mathrm{1BC}}}{3\sqrt{3}} \tag{19}$$

$$I_{1,\mathrm{mean}} = \frac{I_{\mathrm{1A}} + I_{\mathrm{1B}} + I_{\mathrm{1C}}}{3} \tag{20}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$Z_{1,\text{moyenne}} = \frac{U_{1\text{phase-terre, moyenne}}}{I_{1,\text{moyenne}}} \qquad R_{1,\ \text{moyenne}} = \frac{P_{1AB} + P_{1BC}}{3 \cdot I^2_{1,\ \text{moyenne}}}$$

$$X_{1,\ \text{moyenne}} = \sqrt{Z^2_{1,\ \text{moyenne}} - R^2_{1,\ \text{moyenne}}} \qquad (21)$$

Dans ces formules:

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}	sont les courants mesurés du côté primaire par les ampèremètres A_A, A_B, A_C pendant l'essai
U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}	sont les tensions de phase mesurées du côté primaire par les voltmètres V_A, V_B, V_C pendant l'essai
U_{1AB}, U_{1BC}, U_{1AC}	sont les tensions interphases mesurées du côté primaire par les voltmètres V_{AB}, V_{BC}, V_{AC} pendant l'essai
P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}	sont les puissances de phase mesurées du côté primaire par les wattmètres W_A, W_B, W_C pendant l'essai
P_{1AB}, P_{1BC}	sont les puissances interphases mesurées du côté primaire par les wattmètres W_{AB}, W_{BC} pendant l'essai
R_{1A}, R_{1B}, R_{1C}	sont les résistances de phase du circuit électrique principal de l'installation du four à arc du côté primaire pendant l'essai
X_{1A}, X_{1B}, X_{1C}	sont les réactances de phase du circuit électrique principal de l'installation du four à arc du côté primaire pendant l'essai
Z_{1A}, Z_{1B}, Z_{1C}	sont les impédances de phase du circuit électrique principal de l'installation du four à arc du côté primaire
k_T	est le rapport des tensions du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
P_{CuT}	est la perte "cuivre" du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
I_{2T}	est le courant secondaire assigné du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
U_{2T}	est la tension secondaire assignée du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
S_T	est la puissance apparente assignée du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
u_{kT}	est la tension de court-circuit assignée, exprimée en pourcentage, du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
R_{2TA}, R_{2TB}, R_{2TC}	sont les résistances de phase secondaire du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
R_{2Tm}	est la résistance de phase secondaire moyenne du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
X_{2TA}, X_{2TB}, X_{2TC}	sont les réactances de phase secondaire du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
X_{2Tm}	est la réactance de phase secondaire moyenne du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué
R_A, R_B, R_C	sont les résistances de phase de la ligne à haute intensité
X_A, X_B, X_C	sont les réactances de phase de la ligne à haute intensité
Z_A, Z_B, Z_C	sont les impédances de phase de la ligne à haute intensité

NOTE 2 Les données concernant le transformateur du four à arc peuvent inclure l'influence de la bobine d'inductance si elle est utilisée. Il convient de prendre des précautions spéciales dans le cas où la bobine d'inductance serait saturée pendant l'essai.

NOTE 3 Il convient de prendre en compte les différentes valeurs de la réactance du transformateur sur chaque prise pour le calcul des caractéristiques sur les prises autres que celles qui ont été utilisées lors de l'essai en court-circuit.

La résistance (réactance) de phase adoptée de la ligne à haute intensité est la valeur moyenne arithmétique des résistances (réactances) déterminée pendant au moins deux essais.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$Z_{1,\text{mean}} = \frac{U_{1\text{phase-ground, mean}}}{I_{1,\text{mean}}} \qquad R_{1,\text{mean}} = \frac{P_{1AB} + P_{1BC}}{3 \cdot I_{1,\text{mean}}^2}$$

$$X_{1,\text{mean}} = \sqrt{Z_{1,\text{mean}}^2 - R_{1,\text{mean}}^2} \tag{21}$$

In these formulae:

I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}	are the currents measured on the primary side by ammeters A_A, A_B, A_C during test
U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}	are the phase voltages measured on the primary side by voltmeters V_A, V_B, V_C during test
U_{1AB}, U_{1BC}, U_{1AC}	are the interphase voltages measured on the primary side by voltmeters V_{AB}, V_{BC}, V_{AC} during test
P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}	are the phase powers measured on the primary side by wattmeters W_A, W_B, W_C during test
P_{1AB}, P_{1BC}	are the interphase powers measured on the primary side by wattmeters W_{AB}, W_{BC} during test
R_{1A}, R_{1B}, R_{1C}	are the phase resistances of the main electrical circuit of the arc furnace installation on the primary side during test
X_{1A}, X_{1B}, X_{1C}	are the phase reactances of the main electrical circuit of the arc furnace installation on the primary side during test
Z_{1A}, Z_{1B}, Z_{1C}	are the phase impedances of the main electrical circuit of the arc furnace installation on the primary side during test
k_T	is the voltage ratio of the transformer for the tap on which the test was performed
P_{CuT}	is the transformer load loss for the tap on which the test was performed
I_{2T}	is the rated secondary transformer current for the tap on which the test was performed
U_{2T}	is the rated secondary transformer voltage for the tap on which the test was performed
S_T	is the rated apparent power of the transformer for the tap on which the test was performed
u_{kT}	is the rated percentage impedance voltage of the transformer for the tap on which the test was performed
R_{2TA}, R_{2TB}, R_{2TC}	are the secondary phase resistances of the transformer for the tap on which the test was performed
R_{2Tm}	is the mean secondary phase resistance of the transformer for the tap on which the test was performed
X_{2TA}, X_{2TB}, X_{2TC}	are the secondary phase reactances of the transformer for the tap on which the test was performed
X_{2Tm}	is the mean secondary phase reactance of the transformer for the tap on which the test was performed
R_A, R_B, R_C	are the phase resistances of the high-current line
X_A, X_B, X_C	are the phase reactances of the high-current line
Z_A, Z_B, Z_C	are the phase impedances of the high-current line

NOTE 2 The data concerning the arc furnace transformer may include the reactor, if it is used. Special care should be taken should the reactor saturate during the test.

NOTE 3 Account should be taken of the different values of the transformer reactance on each tap in calculations of characteristics for taps other than those used in the short-circuit test.

The adopted phase resistance (reactance) of the high-current line is the arithmetic mean value of resistances (reactances) determined during two or more tests.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.5.5 Détermination du facteur de dissymétrie du côté primaire

Le facteur de dissymétrie est calculé à partir de la formule suivante sur la base des valeurs des impédances de phase Z_{1A}, Z_{1B}, Z_{1C}:

$$K_{\text{as-z}} = \frac{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}}{Z_{\text{m}}} \times 100\ \% \qquad (22)$$

où

Z_{max} est l'impédance de phase maximum;

Z_{min} est l'impédance de phase minimum;

Z_{m} est la valeur moyenne arithmétique des impédances de phase.

Le facteur de dissymétrie calculé est déterminé pour le courant du four correspondant à la puissance assignée du transformateur du four à arc (voir 3.10).

Il convient que la mesure du facteur de dissymétrie réel soit effectuée conformément aux données de l'essai de court-circuit pour le courant correspondant à la puissance assignée du transformateur du four (voir 3.10).

NOTE 1 Après accord entre le fabricant et l'utilisateur, une mesure du facteur de dissymétrie peut être développée en utilisant la composante (X) de l'impédance (Z):

$$K_{\text{as-x}} = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{m}}} \times 100\ \% \qquad (23)$$

où

X_{max} est la réactance de phase maximale;

X_{min} est la réactance de phase minimale;

X_{m} est la valeur moyenne arithmétique de toutes les réactances de phases.

NOTE 2 La composante de résistance de l'impédance n'est pas à prendre en considération, du fait que cette valeur n'est pas déterminée par la conception de la ligne à haute intensité, mais essentiellement par les électrodes en graphite.

La moyenne arithmétique du facteur de dissymétrie à partir de deux mesures ou plus est adoptée en tant que résultat d'essai.

5.6 Détermination des caractéristiques principales de fonctionnement pendant la période de maintien de la puissance

5.6.1 Généralités

La série d'essais comprend la mesure des caractéristiques suivantes:

a) consommation spécifique d'énergie électrique pour la fusion (voir 3.21);

b) taux de production spécifique (voir 3.23);

c) facteur de puissance pendant le temps net de maintien de la puissance (voir 3.24, note 3);

d) temps net de maintien de la puissance (voir 3.22).

5.6.2 Conditions d'essais

Les essais doivent être effectués sur cinq charges de fusion consécutives dans des conditions normales de fusion (les systèmes d'évacuation de fumée et d'épuration, s'ils existent, étant en fonctionnement).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.5.5 Determination of the asymmetry factor on the primary side

The asymmetry factor is calculated on the basis of the value of phase impedances Z_{1A}, Z_{1B}, Z_{1C} from the following formula:

$$K_{\text{as-z}} = \frac{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}}{Z_{\text{m}}} \times 100\ \% \qquad (22)$$

where

Z_{max} is the maximum phase impedance;

Z_{min} is the minimum phase impedance;

Z_{m} is the arithmetic mean value of all phase impedances.

The calculated asymmetry factor is determined for the furnace current corresponding to the power rating of the arc furnace transformer (see 3.10).

Measurement of the actual asymmetry factor should be carried out according to the data of the short-circuit test for the current corresponding to the power rating of the furnace transformer (see 3.10).

NOTE 1 After agreement between manufacturer and user, a measurement of the asymmetry factor can be developed by using the component (X) of the impedance (Z):

$$K_{\text{as-x}} = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{m}}} \times 100\ \% \qquad (23)$$

where

X_{max} is the maximum phase reactance;

X_{min} is the minimum phase reactance;

X_{m} is the arithmetic mean value of all phase reactances.

NOTE 2 The resistance component of the impedance is not to be considered, because this value is not determined by the design of the high-current line, but mainly by the graphite electrodes.

The arithmetic mean value of the asymmetry factor from two or more measurements is adopted as the test result.

5.6 Determination of the main operating characteristics during the power-on time

5.6.1 General

The test series comprise measurement of the following characteristics:

a) specific electrical energy consumption for melting (see 3.21);

b) specific production rate (see 3.23);

c) power factor during the net power-on time (see 3.24, note 3);

d) net power-on time (see 3.22).

5.6.2 Test conditions

The tests shall be carried out during five consecutive heats under normal melting conditions (fume extraction and cleaning systems, if any, in operation).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La masse volumique de la charge doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Pour chaque charge de fusion, on détermine les valeurs suivantes.

a) Consommation d'énergie spécifique électrique pendant le temps net de maintien de la puissance tirée du rapport de la consommation d'énergie électrique active au poids du métal:

$$e_{\mathrm{p}} = \frac{E_{\mathrm{Pt}} - E_{\mathrm{Po}}}{G} \text{ (kWh/t)} \qquad (24)$$

où

E_{Pt} est la lecture de l'appareil de mesure d'énergie active à la fin du temps net de maintien de la puissance (kWh);

E_{Po} est la lecture de l'appareil de mesure de l'énergie active au début du temps net de maintien de la puissance (kWh);

G est le poids du métal coulé (t).

NOTE Si la consommation spécifique est à rapporter à la quantité de ferraille chargée ou à d'autres matériaux, il convient d'en faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Il convient que la température de perçage, l'injection d'oxygène, l'injection de fuel, les conditions de préchauffage des ferrailles pour l'essai fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

b) Taux de production spécifique (t/h) pendant le temps net de maintien de la puissance (voir 3.22)

$$p = \frac{G}{t_{\mathrm{m}}} \text{ (t/h)} \qquad (25)$$

où

t_{m} est le temps net de maintien de la puissance (h)

c) La valeur moyenne du facteur de puissance est tirée de la formule suivante:

$$\lambda \approx \frac{E_{\mathrm{Pt}} - E_{\mathrm{Po}}}{\sqrt{\left(E_{\mathrm{Pt}} - E_{\mathrm{Po}}\right)^2 + \left(E_{\mathrm{Qt}} - E_{\mathrm{Qo}}\right)^2}} \qquad (26)$$

où

E_{Qt} est la lecture de l'appareil de mesure de l'énergie réactive à la fin du temps net de maintien de la puissance (kvarh);

E_{Qo} est la lecture de l'appareil de mesure de l'énergie réactive au début du temps net de maintien de la puissance (kvarh).

La mesure des énergies électriques réactive et active doit être faite par un appareil de mesure triphasé convenable et vérifié, connecté au côté primaire du transformateur.

d) Le temps net de maintien de la puissance (t_{m}) est mesuré au moyen d'un chronographe conformément aux définitions (voir 3.22).

5.6.3 Résultats d'essai

Les moyennes arithmétiques des caractéristiques de fonctionnement:

$$E_{\mathrm{p,\ moyenne}},\ P_{\mathrm{moyenne}},\ \lambda_{\mathrm{moyen}},\ t_{\mathrm{m,\ moyenne}} \qquad (27)$$

peuvent être calculées à partir des valeurs de chacun des paramètres relevés pendant les cinq charges de fusion d'essai.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The bulk density of the load shall be the subject of agreement between manufacturer and user. For each heat the following values are determined.

a) Specific electrical energy consumption during the net power-on time derived from the ratio of the active electrical energy consumption to the weight of tapped liquid metal:

$$e_{\mathrm{p}} = \frac{E_{\mathrm{Pt}} - E_{\mathrm{Po}}}{G} \text{ (kWh/t)} \tag{24}$$

where

E_{Pt} is the reading of the active energy meter at the end of the net power-on time (kWh);

E_{Po} is the reading of the active energy meter at the beginning of the net power-on time (kWh);

G is the mass of tapped liquid metal (t).

NOTE If the specific consumption is to be referred to the quantity of charged scrap or other material, this should be agreed between manufacturer and user. Tapping temperature, oxygen injection, fuel injection, scrap preheating conditions for the test should be agreed upon by manufacturer and user.

b) Specific production rate (t/h) during the net power-on time (see 3.22)

$$p = \frac{G}{t_{\mathrm{m}}} \text{ (t/h)} \tag{25}$$

where

t_{m} is the net power-on time (h)

c) Power factor mean value of the net power-on time is derived from the following formula:

$$\lambda \approx \frac{E_{\mathrm{Pt}} - E_{\mathrm{Po}}}{\sqrt{\left(E_{\mathrm{Pt}} - E_{\mathrm{Po}}\right)^2 + \left(E_{\mathrm{Qt}} - E_{\mathrm{Qo}}\right)^2}} \tag{26}$$

where

E_{Qt} is the reading of the reactive energy meter at the end of the net power-on time (kvarh);

E_{Qo} is the reading of the reactive energy meter at the beginning of the net power-on time (kvarh).

The measurement of active and reactive electrical energies shall be made by means of a suitable and verified three-phase meter connected to the transformer primary.

d) Net power-on time (t_{m}) is measured by means of a timer according to the definition (see 3.22).

5.6.3 Test results

The arithmetic mean values of the operating characteristics:

$$E_{\mathrm{p,\ mean}},\ P_{\mathrm{mean}},\ \lambda_{\mathrm{mean}},\ t_{\mathrm{m,\ mean}} \tag{27}$$

can be calculated from the values recorded during the five test heats.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.7 Mesure de l'usure spécifique des électrodes

La mesure de l'usure spécifique des électrodes est effectuée pendant les essais de fusion. Pour les essais, des électrodes d'un type spécifié doivent être utilisées, conformément à l'accord convenu entre le fabricant du four et l'utilisateur.

L'usure des électrodes G_{el} est déterminée par le poids (kg) des électrodes consommées pendant les cinq charges de fusion d'essai (pendant le cycle complet de coulée à coulée) déduction faite du poids des fragments d'électrode qui peuvent s'être brisés pendant les essais.

L'usure spécifique des électrodes g_{el} est déterminée en faisant le quotient G_{el} de l'usure des électrodes (cassures exclues) exprimé en kilogrammes et le poids total de métal liquide coulé exprimé en tonnes:

$$g_{el} = \frac{G_{el}}{G} \text{ (kg/t)} \quad (28)$$

NOTE Si l'usure spécifique d'électrode g_{el} est à rapporter à la quantité de ferraille ou autre matériau chargé, il convient que cela fasse l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

5.8 Vérification du sens de rotation des phases

Il convient d'effectuer la vérification en connectant un appareil de mesure de séquences de phases à la ligne à haute intensité de manière aussi rapprochée que possible des électrodes.

Un mauvais sens de rotation des phases peut occasionner le desserrage des électrodes. Comme le filetage des électrodes est en général dans les sens des aiguilles d'une montre, il convient que le sens de rotation des phases soit l'inverse.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.7 Measurement of the specific electrode wear

The measurement of the specific electrode wear is made during the test heats. Electrodes of a specified kind agreed between the furnace manufacturer and user shall be employed for the test.

The electrode wear G_{el} is determined by the mass (kg) of electrode consumed during the five test heats (total heats, tap to tap) deducting the weight of the electrode sections which may have been broken during the tests.

The specific electrode wear g_{el} is determined as the quotient G_{el} of electrode wear (breakages excluded) expressed in kilograms and the total mass of tapped liquid metal G expressed in tonnes:

$$g_{el} = \frac{G_{el}}{G} \text{ (kg/t)} \tag{28}$$

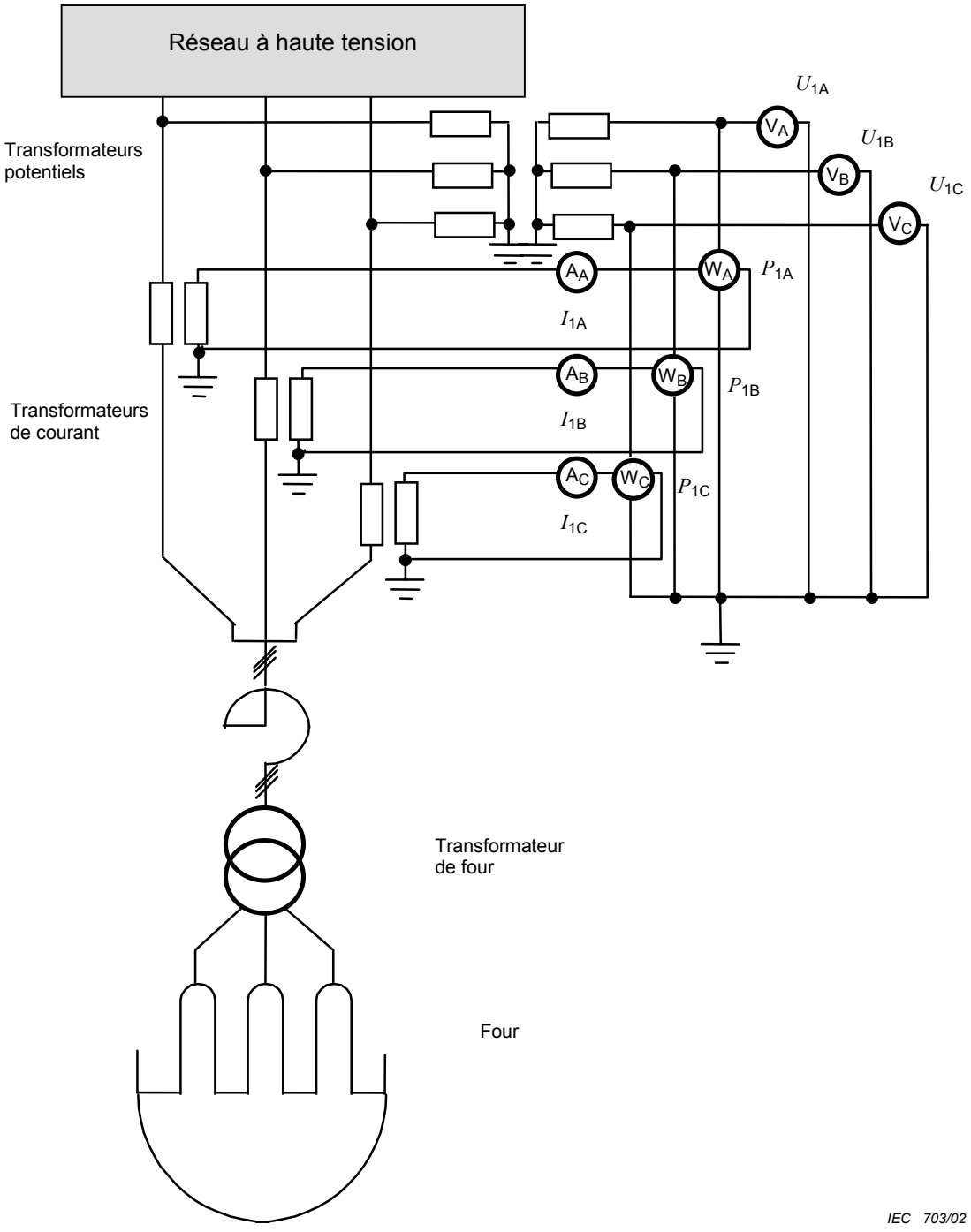
NOTE If the specific electrode wear g_{el} is to be referred to the quantity of the charged scrap or other material, this should be agreed between manufacturer and user.

5.8 Phase rotation check

The check should be carried out by connecting a phase sequence meter to the high-current line as close as possible to the electrodes.

Improper phase rotation is sometimes responsible for loosening the electrodes. As the threads of graphite electrodes are usually clockwise, then the phase sequence should be anti-clockwise.

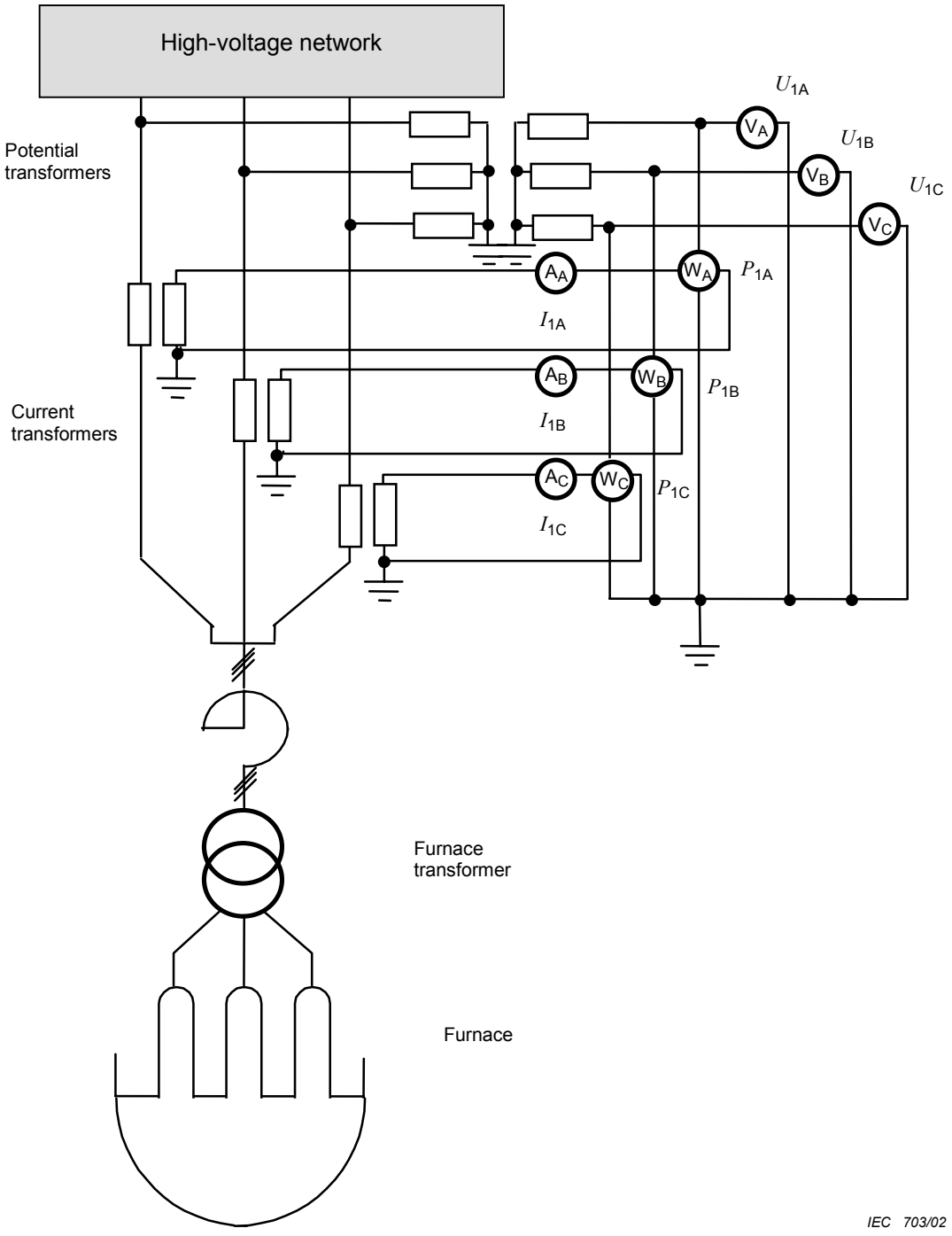
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Les symboles sont expliqués en 5.5.4.

Figure 1 – Circuit de mesure de la résistance et de la réactance de la ligne à haute intensité (court-circuit triphasé)

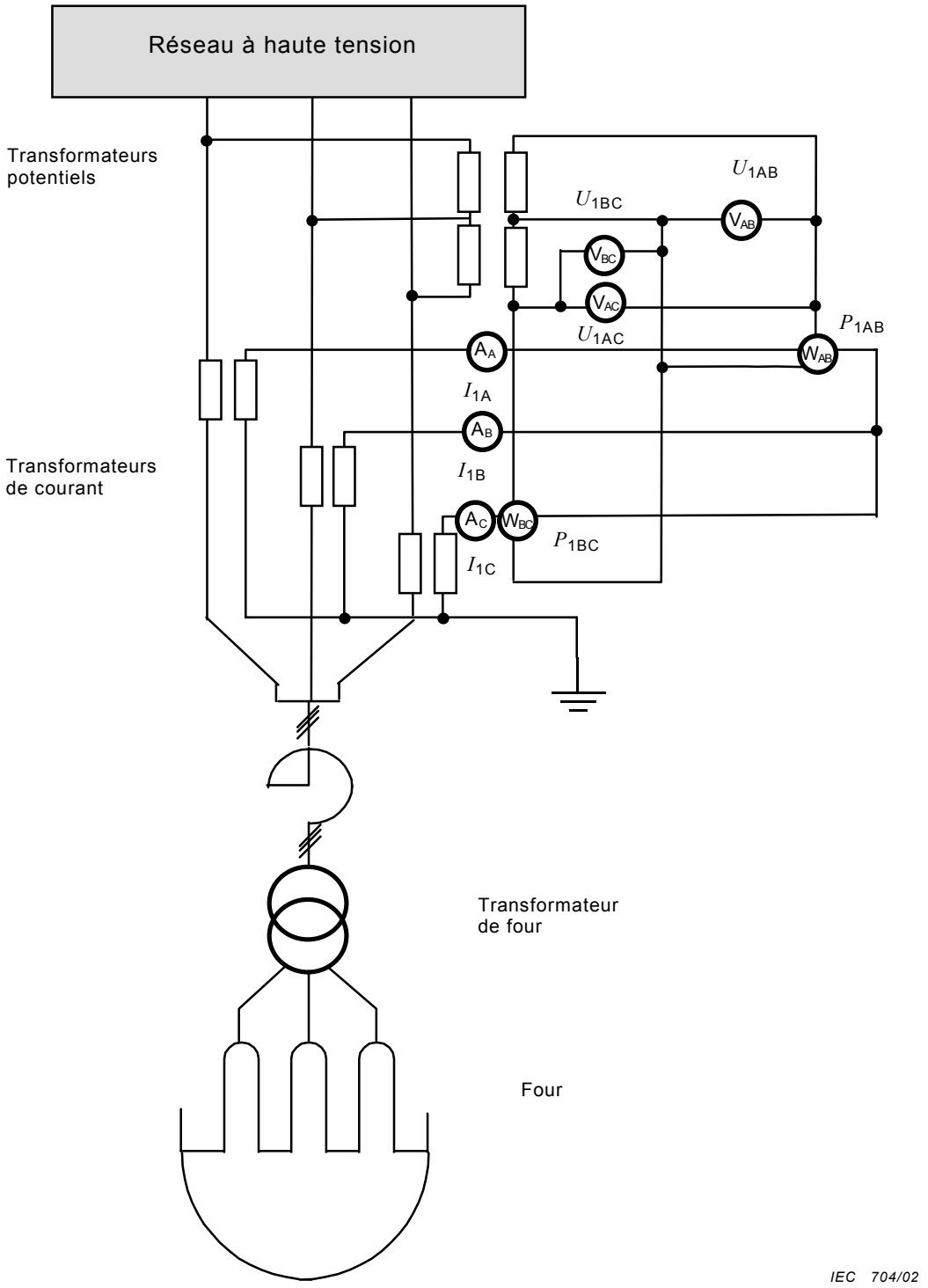
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Symbols are given in 5.5.4.

Figure 1 – Wiring diagram for measurement of the resistance and reactance of the high-current line (three-phase short circuit)

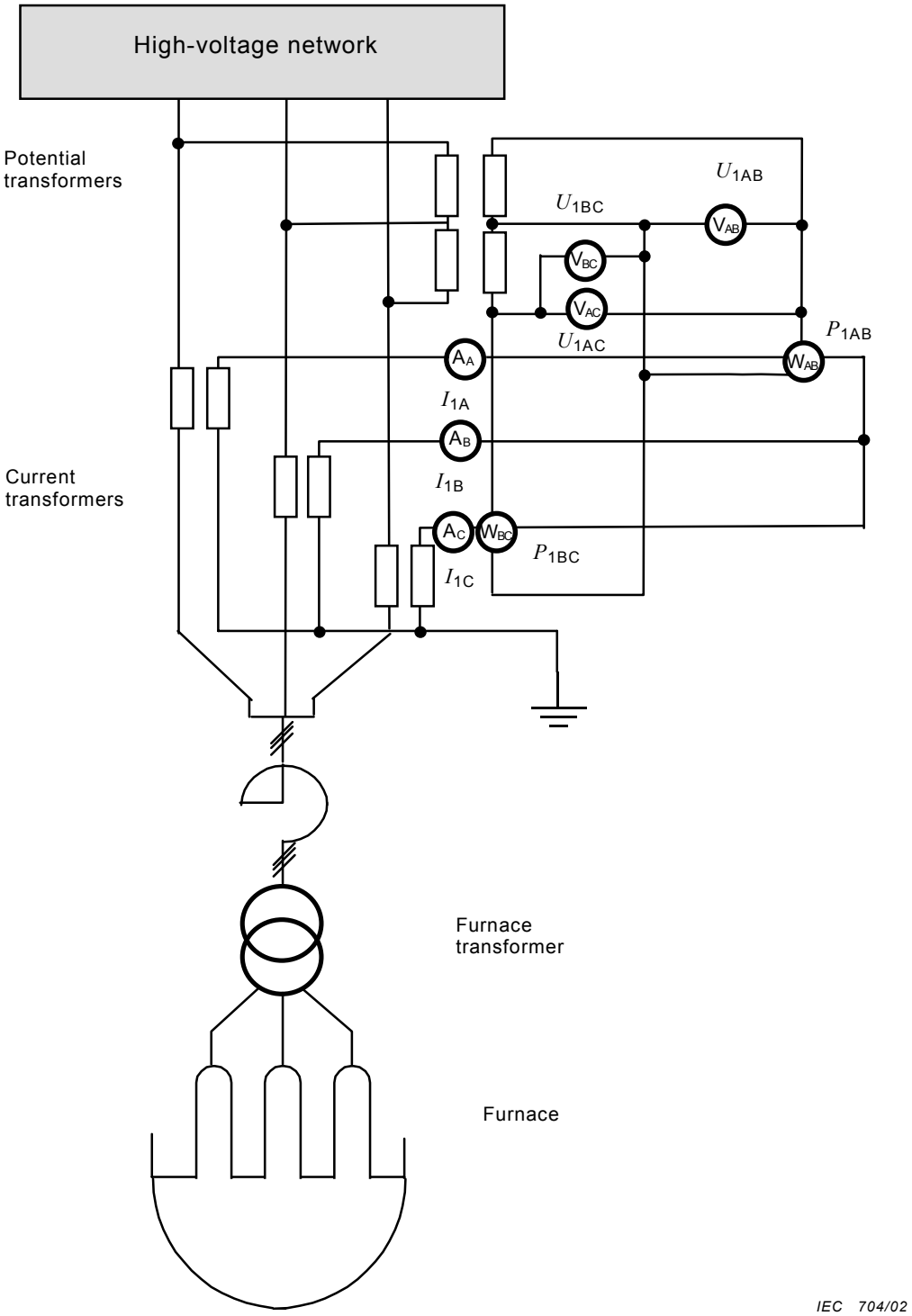
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Les symboles sont expliqués en 5.5.4.

Figure 2 – Circuit de mesure de la résistance et de la réactance de la ligne à haute intensité (court-circuit monophasé)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Symbols are given in 5.5.4.

Figure 2 – Wiring diagram for measurement of the resistance and reactance of the high-current line (one-phase short circuit)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

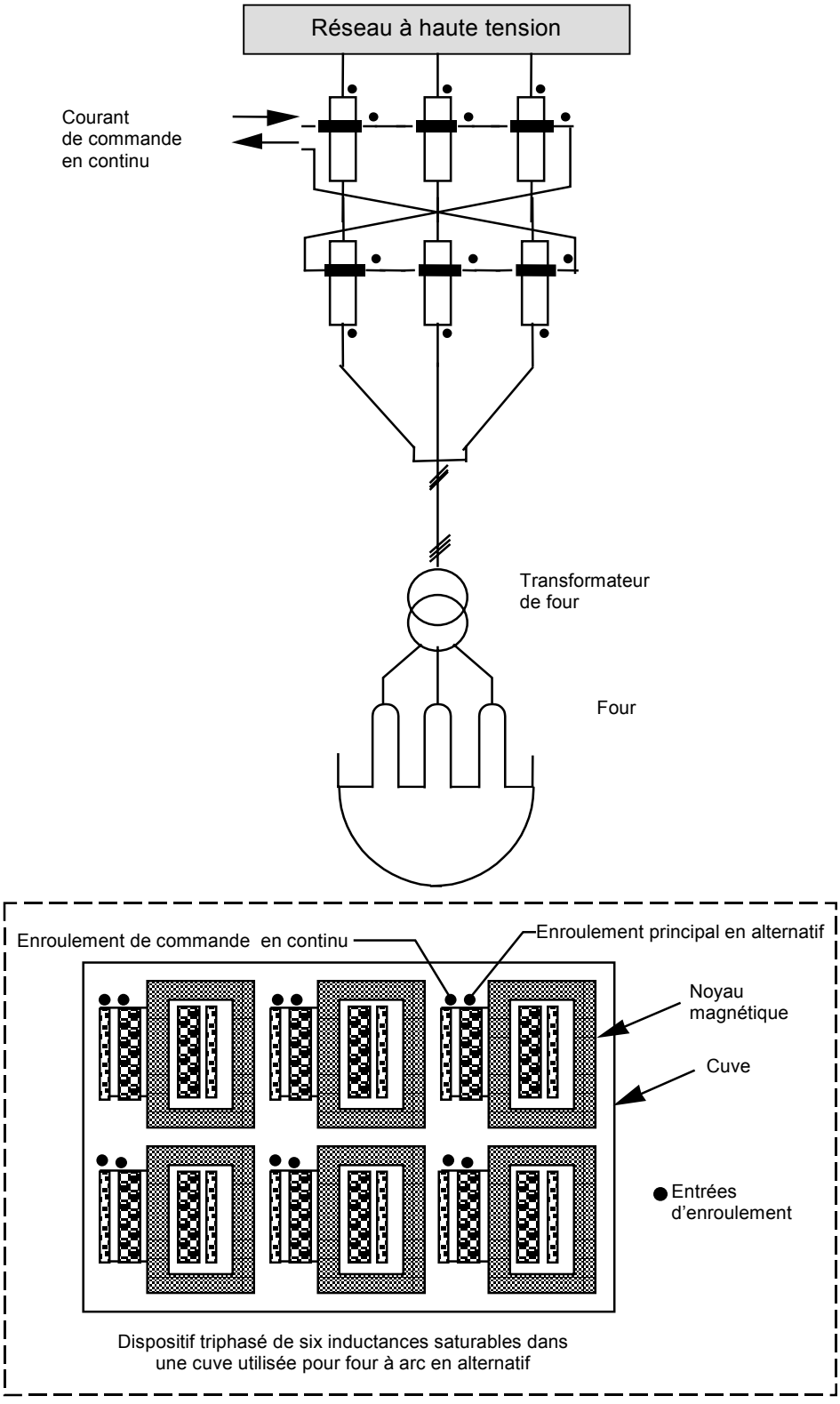


Figure 3 – Exemple de circuit d'un four à arc en courant alternatif équipé d'inductances saturables

———————

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

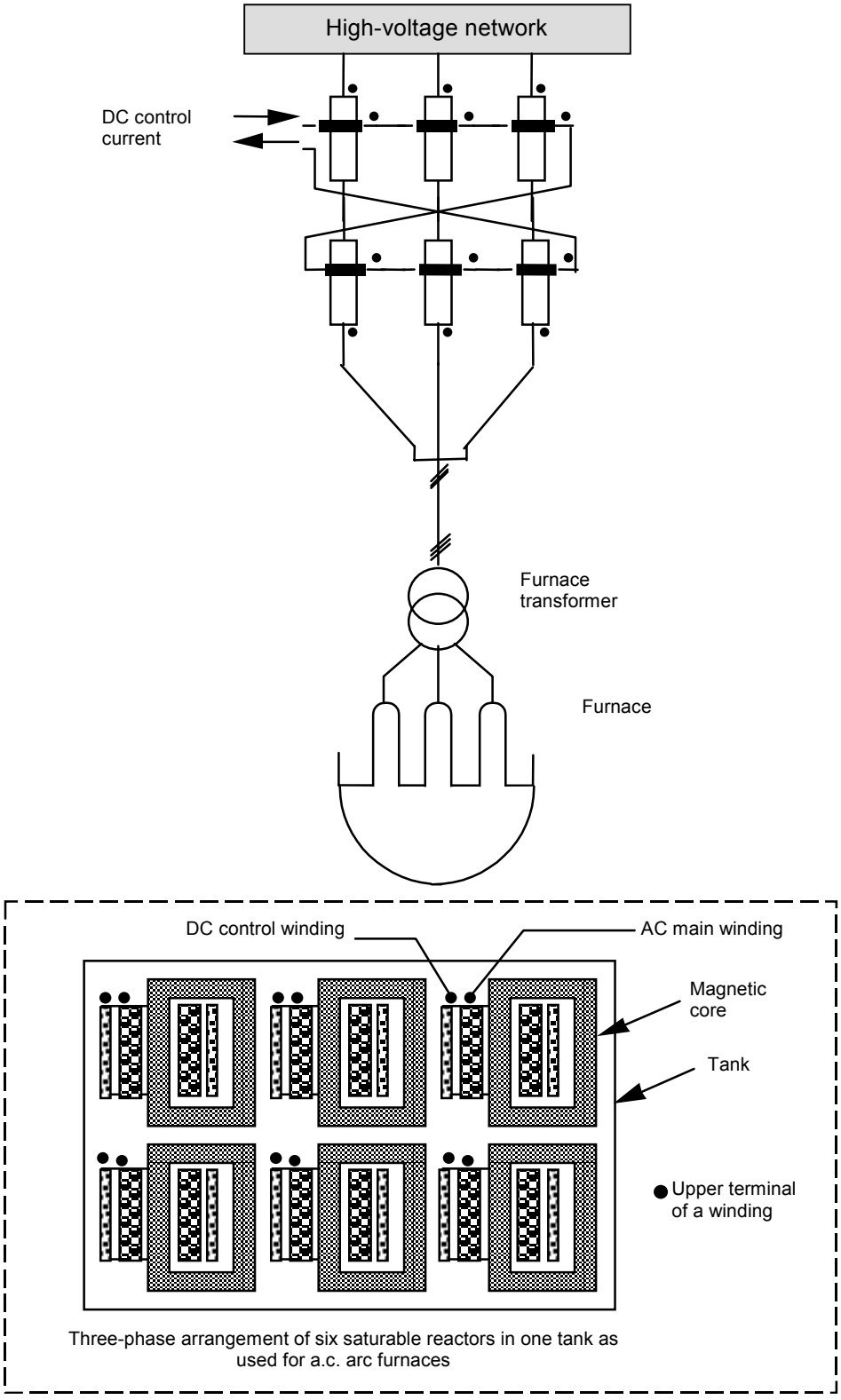


Figure 3 – Example of a wiring diagram of an a.c. arc furnace equipped with saturable reactors

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

--`,,```,,,,`````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ISBN 2-8318-6252-3



ICS 25.180.10

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale