

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60676

Première édition
First edition
1980-01

Méthodes d'essai des fours à arc direct

Test methods for direct arc furnaces



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60676: 1980

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60676

Première édition
First edition
1980-01

Méthodes d'essai des fours à arc direct

Test methods for direct arc furnaces

© IEC 1980 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Définitions	6
4. Type des essais et conditions générales d'exécution	14
5. Recommandations principales concernant les essais techniques	16

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Definitions	7
4. Type of tests and general conditions of their performance	15
5. Principal recommendations on technical tests	17

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60676-1:2011

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS À ARC DIRECT

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes N° 27 de la CEI: Chauffage électrique industriel.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Toronto en 1974. A la suite de cette réunion, un projet, document 27(Bureau Central)26, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1975.

Des modifications, document 27(Bureau Central)38, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en décembre 1976.

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

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Pays-Bas
Canada	Pologne
Corée (République de)	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Egypte	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
France	Union des Républiques
Hongrie	Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme :

- Publications n°s 50: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I).
398: Conditions générales d'essai des installations électrothermiques industrielles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TEST METHODS FOR DIRECT ARC FURNACES

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 27: Industrial Electroheating Equipment.

A first draft was discussed at the meeting held in Toronto in 1974. As a result of this meeting, a draft, Document 27(Central Office)26, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1975.

Amendments, Document 27(Central Office)38, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in December 1976.

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

Canada	Netherlands
Czechoslovakia	Poland
Denmark	Romania
Egypt	South Africa (Republic of)
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Hungary	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Korea (Republic of)	Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this publication:

- Publications Nos. 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.).
398: General Test Conditions for Industrial Electroheating Equipment.

MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS À ARC DIRECT

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux fours triphasés à arc direct dont la capacité assignée est égale ou supérieure à 0,5 tonne. 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 (acier, fonte) ou des métaux non ferreux (cuivre); ils peuvent être utilisés comme fours de maintien pour charge liquide qu'il faut surchauffer pour la maintenir à température avant coulée.

Note. — Dans tout ce qui se rapporte aux essais électriques, on ne doit pas tenir compte de l'influence de l'équipement nécessaire pour la compensation de la puissance réactive et/ou pour la stabilisation de la tension.

S'il n'est pas possible de débrancher un tel appareillage pendant l'essai, les spécifications de la présente norme sont applicables pour ce qui concerne le circuit électrique principal (voir paragraphe 3.16) avec indication expresse de l'existence et du fonctionnement de ces équipements pendant l'essai. Les résultats tenant compte de l'influence d'un tel appareillage et valables pour le réseau d'alimentation peuvent être additionnellement donnés.

2. Objet

L'objet de cette 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.

Ne sont pas comprises dans le domaine d'application de cette norme toutes les méthodes d'essai possibles qui peuvent être effectuées pour l'estimation technique et économique des fours à arc.

3. Définitions

Pour les définitions des termes fondamentaux et généraux du domaine de l'électrothermie, le lecteur est invité à se reporter au chapitre 841 : Chauffage électrique industriel, de la Publication 50 de la CEI : Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.).

Les définitions suivantes se rapportent à la présente norme.

3.1 Four à arc

Four dans lequel l'arc électrique est la principale source de chaleur.

3.2 Four à arc direct

Four à arc dans lequel l'arc est maintenu entre la charge et une ou plusieurs électrodes.

TEST METHODS FOR DIRECT ARC FURNACES

1. Scope

This standard applies to industrial three-phase direct arc furnaces, the rated capacity of which is equal to or greater than 0.5 tonne. 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 melting of ferrous metals (steel, cast iron) and non-ferrous metals (copper); they may also be used as holding furnaces for a liquid charge to superheat and maintain the temperature before tapping.

Note. — All the electrical tests exclude the influence of equipment for reactive power compensation and/or voltage stabilization.

Should it not be feasible to switch off such apparatus during testing, the terms stated in this standard are applicable in respect of the main electrical circuit (see Sub-clause 3.16) only with due indication of simultaneous operation of the apparatus. Figures resulting from the influence of such apparatus and valid for the supply network may be additionally shown.

2. Object

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.

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

3. Definitions

For definitions of fundamental and general terms in the electroheating field, the reader should refer to Chapter 841: Industrial Electroheating, of IEC Publication 50: International Electro-technical Vocabulary (I.E.V.).

The following definitions apply for the purpose of this standard.

3.1 Arc furnace

Furnace in which the electric arc is the main source of heat.

3.2 Direct arc furnace

Arc furnace in which the arc is maintained between the charge and one or more electrodes.

3.3 Installation du four à arc

Ensemble du four avec l'équipement électrique complet comprenant:

- l'appareillage haute tension (avec la bobine d'inductance, s'il y a lieu);
- le transformateur du four;
- le système de barres ou de tubes secondaires;
- l'équipement de compensation de la puissance réactive et/ou l'équipement pour la stabilisation des tensions (s'il existe);
- le système de réglage automatique;
- les panneaux et pupitres avec les dispositifs de protection, de commande, de mesure et de signalisation.

Note. — L'installation du four à arc ne comprend pas les électrodes, l'arc et la charge, qui font partie du circuit électrique principal de l'installation du four à arc (voir paragraphe 3.16).

3.4 Cuve du four à arc

Récipient en acier dont le fond et les parois latérales sont garnis de réfractaire et destinés à recevoir la charge.

3.5 Volume nominal du four

Volume total intérieur délimité par la surface interne du revêtement de la cuve du four. (Le volume délimité par le niveau supérieur de la cuve et la partie inférieure de la voûte n'est pas inclus dans le volume nominal.)

3.6 Capacité assignée du four

Capacité calculée en tonnes de métal liquide pour laquelle le four est conçu, construit et marqué; 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. La masse volumique du métal liquide, utilisée par le constructeur pour le calcul, doit être nettement définie.

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 nominal.

3.8 Disjoncteur haute tension du four

Disjoncteur haute tension qui sert à mettre en ou hors service, en charge, le transformateur du four, en fonction des nécessités d'exploitation.

3.9 Transformateur du four à arc

Transformateur alimentant un four à arc dont le circuit primaire est raccordé au réseau haute tension et qui fournit au secondaire une plage de tensions appropriées au fonctionnement du four.

3.10 Puissance nominale du transformateur du four à arc

Puissance maximale admissible en régime continu au primaire du transformateur du four à arc.

3.3 Arc furnace installation

Furnace assembly with complete set of electrical equipment comprising:

- high-voltage equipment (with reactor, if applicable);
- furnace transformer;
- secondary voltage busbar system;
- equipment for reactive power compensation and/or voltage stabilization (if supplied);
- equipment for automatic regulation;
- boards, panels, desks with protection, control, measuring and signalling devices.

Note. — The arc furnace installation does not include electrodes, arc and charge which are included in the main electrical circuit of the arc furnace installation (see Sub-clause 3.16).

3.4 Arc furnace shell

A steel constructed vessel with refractory lined bottom and side walls into which the charge is placed.

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. (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 furnace

Calculated capacity in tonnes of liquid metal for which the furnace has been designed, built and marked; 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. The specific density of the liquid metal used by the manufacturer for the calculations shall be clearly defined.

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 which serves for switching on and off, under load, the furnace transformer, in accordance with operating requirements.

3.9 Arc furnace transformer

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

3.10 Power rating of an arc furnace transformer

The maximum admissible continuous power of the arc furnace transformer primary.

3.11 Puissance de fusion d'un transformateur de four à arc

Puissance maximale admissible du transformateur du 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 doit être au moins égal au temps net de fusion (voir paragraphe 3.21).

3.12 Bobine d'inductance du 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.

3.13 Electrode d'un four à arc

Pièce conductrice, généralement en graphite, reliée à la source de courant et dont une extrémité assure le passage de l'arc vers une autre électrode ou vers la charge.

Note. — On distingue principalement:
— les électrodes de voûte;
— les électrodes de sol.

3.14 Pince d'électrode de four à arc

Pièce métallique servant à supporter l'électrode et à assurer le contact électrique. Elle est refroidie par eau en partie ou dans son ensemble.

3.15 Ligne à haute intensité

Ensemble d'éléments du circuit secondaire connecté en série comprenant les électrodes et le système de jeu de barres secondaire (pinces d'électrode, système de conducteurs (barres ou tubes) des bras d'électrode, câbles souples et dispositif de connection du jeu de barres secondaire du transformateur) et destiné à fournir la puissance électrique du transformateur aux matériaux chargés dans le four.

3.16 Circuit électrique principal de l'installation du four à arc

Partie de l'installation du four à arc qui comprend: l'équipement haute tension (bobine d'inductance, si elle existe, mais installation de compensation exclue), le transformateur du four, la ligne à haute intensité, l'arc et la charge.

3.17 Facteur de dissymétrie du côté primaire (%)

Rapport, exprimé en pourcentage, de la différence entre les valeurs maximales et minimales des impédances de phase (y compris l'impédance du transformateur du four et de la ligne à haute intensité) sur la valeur moyenne d'impédance de toutes les phases de l'installation du four à arc.

$$K_{as} = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{Z_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

où:

$Z_{\max}$ = valeur maximale de l'impédance de phase
 $Z_{\min}$ = valeur minimale de l'impédance de phase
 Z_m = moyenne arithmétique de toutes les valeurs d'impédance de phase

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 shall be at least equal to the net melt-down time (see Sub-clause 3.21).

3.12 *Arc furnace reactor*

An 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.

3.13 *Electrode of an arc furnace*

A conducting piece, generally of graphite, which is connected to a source of current while one end of the same ensures the passage of the arc to another electrode or to the charge.

Note. — It is necessary to differentiate between:

- the roof electrodes;
- the hearth electrodes.

3.14 *Arc furnace electrode clamp*

A metallic device which carries the electrodes and ensures electrical contact, a part or the whole of which is water-cooled.

3.15 *Heavy current line*

Assembly of series-connected elements of the secondary circuit comprising electrodes and secondary voltage busbar system (electrode clamps, busbar system of electrode arms, flexible cables and transformer secondary busbar connections) intended to carry the required electrical power from the transformer to the charge material contained in the furnace body.

3.16 *Main electrical circuit of the arc furnace installation*

The part of the arc furnace installation, which comprises the high-voltage equipment (reactor, when used, but compensation device excluded), furnace transformer, heavy current line, arc and charge.

3.17 *Asymmetry factor on primary side (%)*

Percentage ratio of the difference between the maximum and minimum phase impedance, including furnace transformer and heavy current line, to the mean impedance of all the phases:

$$K_{as} = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{Z_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

where:

- $Z_{\max}$ = maximum phase impedance
- $Z_{\min}$ = minimum phase impedance
- Z_m = arithmetic mean value of all phase impedance

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

La mesure du facteur de dissymétrie réel devrait être effectuée à partir des données de l'essai en court-circuit pour le courant correspondant à la puissance nominale du transformateur de four (voir paragraphe 3.10).

Note. — En accord entre le constructeur et l'utilisateur, le facteur de dissymétrie peut être déterminé à partir des valeurs des composantes (R , X) de l'impédance (Z):

$$K_{as-r} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_m} \cdot 100\% \quad (1A)$$

$$K_{as-x} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_m} \cdot 100\% \quad (1B)$$

où:

$R_{\max}$ = valeur maximale de la résistance de phase

$R_{\min}$ = valeur minimale de la résistance de phase

R_m = moyenne arithmétique de toutes les valeurs de résistances de phase

$X_{\max}$ = valeur maximale de la réactance de phase

$X_{\min}$ = valeur minimale de la réactance de phase

X_m = moyenne arithmétique de toutes les valeurs de réactances de phase

3.18 Puissance active du circuit électrique principal de l'installation du four

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

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

2. — La valeur moyenne de la puissance active pendant une période donnée (par exemple pendant la période de fusion) peut être obtenue en divisant l'énergie électrique consommée pendant cette période, exprimée en kilowattheures, par la durée de l'enclenchement exprimée en heures.

3.19 Consommation d'énergie électrique spécifique pour la fusion (kWh/t)

Quantité d'énergie électrique, exprimée en kilowattheures, consommée par le circuit électrique principal de l'installation de four à arc pour la fusion complète d'une tonne de métal liquide à partir d'une charge préalablement définie du four.

Note. — Pour définir la période de fusion, voir paragraphe 3.21.

3.20 Taux spécifique de fusion (t/h)

Rapport entre la quantité totale de liquide, mesurée en tonnes, et le temps net de fusion exprimé en heures.

3.21 Temps net de fusion (t_m)

Le temps net de fusion correspond à la durée de la période qui s'écoule 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, incident d'exploitation, arrêt d'urgence, etc.).

3.22 Facteur de puissance du circuit électrique principal de l'installation du four ($\cos \varphi$)

La valeur approximative du facteur de puissance est déterminée à partir de la formule suivante:

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

Note. — With mutual agreement between manufacturer and user, a detailed measure of the asymmetry factor can be developed by using the components (R , X) of the impedance (Z):

$$K_{as-r} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_m} \cdot 100\% \quad (1A)$$

$$K_{as-x} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_m} \cdot 100\% \quad (1B)$$

where :

- $R_{\max}$ = maximum phase resistance
- $R_{\min}$ = minimum phase resistance
- R_m = arithmetic mean value of all phase resistances
- $X_{\max}$ = maximum phase reactance
- $X_{\min}$ = minimum phase reactance
- X_m = arithmetic mean value of all phase reactances

3.18 Active power of main electrical circuit of furnace installation

Total active power of the three phases of the main electrical circuit of the arc furnace installation.

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

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

3.19 Specific electric energy consumption for melt-down (kWh/t)

Quantity of electric energy measured in kilowatthours consumed by the main electrical circuit of an arc furnace installation for the complete melting of one tonne of liquid metal from a specified furnace charge.

Note. — For melt-down period, see Sub-clause 3.21.

3.20 Specific melt-down rate (t/h)

Total quantity of liquid metal measured in tonnes, divided by net melt-down time measured in hours.

3.21 Net melt-down time (t_m)

Net melt-down time is the period that elapses 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.).

3.22 Power factor of main electrical circuit of arc furnace installation ($\cos \varphi$)

The approximate value of the power factor is determined from the following formula:

$$\cos \varphi \approx \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2)$$

où:

P = la puissance active
 Q = la puissance réactive

Notes 1. — En raison de la présence possible d'harmoniques, la mesure du facteur de puissance n'est pas nécessairement rigoureuse.

2. — La valeur instantanée du facteur de puissance de l'installation du four peut être obtenue à tout moment en mesurant simultanément les puissances actives et réactives.

3. — La valeur moyenne du facteur de puissance de l'installation du four pendant une période donnée (par exemple pendant la période de fusion) peut être déterminée à partir de la formule suivante:

$$\cos \varphi \approx \frac{E_p}{\sqrt{E_p^2 + E_Q^2}} \quad (2A)$$

où:

E_p = la consommation d'énergie active pendant une période donnée
 E_Q = la consommation d'énergie réactive pendant la même période

3.23 Consommation d'eau de refroidissement (m^3/h)

La consommation totale d'eau de refroidissement comprend généralement les quantités d'eau nécessaires pour:

- le refroidissement du four proprement dit, y compris les conducteurs d'alimentation secondaire;
- le refroidissement du transformateur du four;
- le refroidissement du dispositif de brassage électromagnétique (s'il existe);
- le refroidissement de tout autre équipement appartenant à l'installation du four, y compris les dispositifs d'évacuation et d'épuration des fumées.

3.24 Court-circuit de fonctionnement

Contact électrique d'une, de deux ou de trois électrodes sous tension avec la charge solide ou liquide.

3.25 Etat froid de l'installation du four à arc

Etat du four et de son installation tel que la température de tous ses éléments est égale à la température ambiante.

3.26 Etat chaud du four

Etat thermique du four atteint après 48 h de fonctionnement normal et continu.

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:

$$\cos \varphi \approx \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2)$$

where:

P = active power

Q = reactive power.

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

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

3. — The value of the power factor over a definite period of time (for example during the melt-down period) may be determined from the following formula:

$$\cos \varphi \approx \frac{E_p}{\sqrt{E_p^2 + E_Q^2}} \quad (2A)$$

where:

E_p = active electric energy measured for a definite period of time

E_Q = reactive electric energy measured for the same period of time

3.23 Cooling-water consumption (m^3/h)

The total cooling-water consumption is usually subdivided as follows:

- a) consumption for furnace proper, including secondary voltage busbar systems;
- b) consumption to cool the furnace transformer;
- c) consumption to cool the device for electromagnetic stirring (when used);
- d) consumption to cool the other equipment, belonging to the furnace installation, including fume extraction and cleaning systems.

3.24 Operational short circuit

Electrical contact of one, two or three live electrodes with the solid or liquid charge.

3.25 Cold state of arc furnace installation

State of furnace and its installation when the temperature of all its parts equals the ambient temperature.

3.26 Hot state of furnace

Thermal state of furnace attained after 48 h of normal and continuous operation.

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 specified order, are recommended:

- a) mesure de la résistance de l'isolement électrique de la ligne à haute intensité (voir paragraphe 3.15);
- b) mesure de la consommation d'eau de refroidissement (voir paragraphe 3.23).
- c) détermination des caractéristiques du système de régulation de déplacement d'électrodes (voir paragraphe 5.3);
- d) contrôle de la capacité assignée du four (voir paragraphe 3.6);
- e) essai de court-circuit en fonctionnement normal (voir paragraphe 5.5);
- f) détermination du facteur de dissymétrie du côté primaire (voir paragraphe 3.17);
- g) détermination des caractéristiques principales de fonctionnement pendant la période de fusion (voir paragraphe 5.6):
 - consommation d'énergie électrique spécifique pour la fusion (voir paragraphe 3.19);
 - taux spécifique de fusion (voir paragraphe 3.20);
 - facteur de puissance (voir paragraphe 3.22);
 - temps net de fusion (voir paragraphe 3.21);
 - usure spécifique des électrodes (voir paragraphe 5.7).

Note. — L'exécution des essais prévus du point a) au point c) est recommandée sur chaque four nouvellement installé ou reconstruit, du fait que ces essais permettent non seulement de contrôler la conception correcte du four, mais également de vérifier la qualité de sa fabrication et de son montage.
Les essais prévus du point d) au point g) peuvent ne pas être effectués si les données correspondantes sont présentées dans la documentation technique du four à arc et si elles sont garanties par le constructeur; cependant, ces essais doivent être effectués s'il y a désaccord entre les données techniques et les données réelles déterminées pendant le fonctionnement du four.

4.2 Conditions générales d'exécution des essais

Ces essais doivent être réalisés conformément aux dispositions de la Publication 398 de la C.E.I.: Conditions générales d'essai des installations électrothermiques.

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

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

Le niveau de la tension d'alimentation du réseau primaire du transformateur doit être maintenu à $\pm 5\%$ près de la valeur nominale de la tension primaire. Cependant, des niveaux de tension situés en dehors de ces limites peuvent être admis pour les essais, en accord entre le constructeur et l'utilisateur. De toute façon, les résultats des essais doivent être rapportés à la valeur nominale de la tension.

5. Recommandations principales concernant les essais techniques

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

Deux essais doivent être effectués, dans l'ordre suivant, sur le four hors tension avec les électrodes mises en place et passant à travers les orifices de la voûte du four vide:

- à l'état froid, sur l'installation complète du four sans eau;
- à l'état chaud, sur l'installation complète du four avec eau.

- a) measurement of electrical insulation of the heavy current line (see Sub-clause 3.15);
- b) measurement of cooling-water consumption (see Sub-clause 3.23);
- c) determination of the electrode motion regulating system characteristics (see Sub-clause 5.3);
- d) check of the rated capacity of the furnace (see Sub-clause 3.6);
- e) carrying out a short-circuit test during normal operation (see Sub-clause 5.5);
- f) determination of the asymmetry factor on primary side (see Sub-clause 3.17);
- g) determination of the main operating characteristics during the melt-down period (see Sub-clause 5.6):
 - specific electric energy consumption during melt-down period (see Sub-clause 3.19);
 - specific melt-down rate (see Sub-clause 3.20);
 - power factor (see Sub-clause 3.22);
 - net melt-down time (see Sub-clause 3.21);
 - specific electrode wear (see Sub-clause 5.7).

Note. — The tests specified in Items a) to c) are recommended to 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 g) 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 shall be carried out if there is some discrepancy between the technical data and the actual data obtained during furnace operation.

4.2 General conditions of performance of tests

Performance of the tests shall be in accordance with the specifications of IEC Publication 398: General Test Conditions for Industrial Electroheating Equipment.

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.

The mains supply to the furnace installation during tests shall ensure a symmetry of voltages between separate phases.

The mains supply voltage level at the transformer primary should be within $\pm 5\%$ of the furnace transformer primary rated voltage. Voltage levels outside these limits may be admitted in tests, by agreement between manufacturer and user. In any case, the test results shall be converted to the reference rated voltage value.

5. Principal recommendations on technical tests

5.1 Measurement of electrical insulation of heavy current line

Two tests shall be carried out, in the following order, on the de-energized furnace with the electrodes completely mounted and passing through portholes in the roof of an empty furnace:

- in the cold state, on complete furnace installation without water;
- in the hot state, on complete furnace installation with water.

5.1.1 Mesure de la résistance d'isolement électrique de la ligne à haute intensité du four à l'état froid

L'essai à l'état froid du four doit être effectué au moyen d'un mégohmmètre de 1 000 V à courant continu.

- a) Lors de l'essai de l'installation du four, les câbles souples n'étant pas raccordés, la mesure de la résistance d'isolement est effectuée séparément entre chaque phase et la carcasse métallique du four mise à la terre.
- b) L'essai sur l'installation du four complet, les câbles souples étant raccordés, est effectué en mesurant la résistance de l'isolement entre les trois phases connectées entre elles et la carcasse métallique du four mise à la terre.

5.1.2 Mesure de la résistance approximative de l'isolement de la ligne à haute intensité du four à l'état chaud

La mesure de la résistance d'isolement approximative du four à l'état chaud doit être effectuée sur une installation de four à arc au moyen d'un pont à résistance ou d'un appareillage de mesure équivalent.

5.2 Mesure de la consommation d'eau de refroidissement

Le but de cet essai est de vérifier la consommation d'eau de refroidissement prévue en service normal par le constructeur.

L'essai doit être effectué lorsque le four est à l'état chaud (voir paragraphe 3.26) pendant la période de fusion. La pression, la température et la qualité de l'eau de refroidissement doivent correspondre à celles indiquées aux spécifications fournies par le constructeur dans la documentation technique. La température de l'eau de sortie doit être mesurée toutes les 15 min au moyen d'un thermomètre gradué de 0°C à 100°C.

La consommation d'eau de refroidissement est déterminée selon la formule :

$$q = \frac{Q_m}{t} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (3)$$

où :

Q_m = quantité d'eau mesurée (m^3)

t = intervalle de temps (h) pendant lequel l'eau circule à travers un circuit de refroidissement séparé

Pendant l'essai, il est souhaitable de déterminer les qualités de l'eau de refroidissement (dureté, quantité de particules en suspension, etc.) et de les comparer avec celles recommandées par le constructeur.

5.3 Détermination des caractéristiques du système de régulation de déplacement des électrodes

5.3.1 Mesure de la vitesse de déplacement des électrodes

Cette mesure est effectuée en commande manuelle du système d'entraînement d'électrode(s) dans les deux sens.

La mesure de la vitesse de déplacement est effectuée séparément sur chaque électrode, puis sur les trois électrodes ensemble, au moyen d'un chronomètre en notant la distance couverte par le bras d'électrode par rapport à son support fixe.

5.3.2 Détermination de la zone d'insensibilité du régulateur d'électrodes

Une détermination exacte en cours de fonctionnement n'est pas possible. L'essai peut être effectué par commande en boucle ouverte, après accord entre fournisseur et utilisateur, le four étant déconnecté.

5.1.1 *Measurement of electrical insulation of heavy current line of the furnace in cold state*

The test of the furnace in the cold state shall be carried out by means of a 1 000 V d.c. megohmmeter.

- 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.
- b) In the test on the furnace installation with flexible cables the measurement of the insulation is carried out between all three electrically connected phases and the earthed metal body of the furnace.

5.1.2 *Measurement of approximative electrical insulation of the heavy current line of the furnace in hot state*

The measurement of the approximative insulation value of the furnace in the hot state shall be carried out on the arc furnace installation by means of a resistance bridge or equivalent measuring instrument.

5.2 *Measurement of cooling-water consumption*

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

The test shall be carried out when the furnace is in the hot state (see Sub-clause 3.26) during the melt-down period. The pressure, temperature and properties of the cooling-water shall correspond to the requirements given in the technical documentation by the furnace manufacturer. The temperature of the outlet water should be measured every 15 min by means of a thermometer scaled from 0 °C to 100 °C.

The cooling-water consumption is determined from the formula:

$$q = \frac{Q_m}{t} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (3)$$

where:

Q_m = quantity of water measured (m^3)

t = 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.

5.3 *Determination of the electrode motion regulating system characteristics*

5.3.1 *Measurement of speed of the electrode motion*

The measurement is made with manual control of the electrode(s) moving system in two directions.

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, noting the distance covered by the electrode arm relative to its fixed support.

5.3.2 *Determination of insensibility zone (dead zone) of electrode regulators*

A clear determination during operation will not be possible. This test can be carried out, by mutual agreement between manufacturer and user, with disconnected furnace and open loop control.

La détermination de la zone d'insensibilité est effectuée séparément sur chacune des phases.

Mesure 1. — Le régulateur est réglé pour le courant nominal et la tension nominale du transformateur.

Une tension est appliquée au régulateur qui simule une tension secondaire nominale constante de fonctionnement du transformateur. Une valeur correspondant au courant nominal est envoyée aux bornes d'entrée du régulateur. On la fera varier jusqu'à ce que les électrodes amorcent leur mouvement.

Mesure 2. — Le régulateur est réglé pour la tension minimale du transformateur et le courant de fonctionnement correspondant. Les deux valeurs seront réglées en tant que simulées et on fera varier la seule valeur du courant jusqu'à ce que les électrodes amorcent leur mouvement.

A partir des deux essais spécifiés ci-dessus, la zone d'insensibilité est déterminée à partir de la formule:

$$IZ = \frac{I_1 - I_2}{I_n} \cdot 100\% \quad (4)$$

où:

IZ = zone d'insensibilité

I_1 = valeur du courant pour laquelle l'électrode commence à monter

I_2 = valeur du courant pour laquelle l'électrode commence à descendre

I_n = valeur nominale du courant du transformateur correspondant au réglage du régulateur

Cet essai est indispensable pour contrôler si les zones d'insensibilité, déterminées pour les différentes phases, sont égales et se situent dans les limites admissibles.

Note. — La détermination de la zone d'insensibilité dépend de la tension:

- à la tension secondaire nominale du transformateur, elle permet de s'assurer que la position moyenne est maintenue;
- à la tension secondaire minimale du transformateur, elle permet de s'assurer de la tendance des électrodes à plonger dans le bain

5.3.3 Détermination du temps de réponse total du système de régulation de déplacement d'électrodes

A l'étude.

5.4 Contrôle de la capacité assignée du four

Le four, ayant un garnissage conforme aux prescriptions du constructeur, est rempli par une quantité de ferraille dont la qualité a été convenue préalablement entre le constructeur 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 la procédure convenue entre le constructeur et l'utilisateur. Le volume de laitier doit être conforme à la quantité spécifiée. La quantité totale de métal liquide est ensuite coulée jusqu'à ce que le four soit complètement vide, elle ne doit pas être inférieure à la capacité assignée du four.

5.5 Essai de court-circuit en fonctionnement normal

5.5.1 Généralités

Pour déterminer les valeurs de la résistance et de la réactance de la ligne à haute intensité et du facteur de dissymétrie du côté primaire, les mesures sont effectuées sur le côté primaire du transformateur et les résultats sont convertis (pour obtenir les valeurs désirées).

The determination of the insensibility zone is made separately on each phase.

Measurement 1. — Regulator setting for rated current and rated voltage of transformer.

A voltage is supplied to the regulator which simulates a constant operating secondary rated voltage of the transformer. A value of the respective rated current is supplied to the regulator input for the current, this being increased or decreased until the electrode starts to move.

Measurement 2. — Regulator setting for minimum transformer voltage and respective operating current. Both values will be pre-set as simulated ones and only the current will be varied until the electrode starts to move.

For both measurements specified above, the insensibility zone is determined from the formula:

$$IZ = \frac{I_1 - I_2}{I_n} \cdot 100\% \quad (4)$$

where:

IZ = insensibility zone (dead zone)

I_1 = current value, starting electrode raising

I_2 = current value, starting electrode lowering

I_n = rated current of transformer corresponding to the setting of the regulator

This test is indispensable for checking whether the insensibility zones determined for particular phases are equal and whether they are within permissible limits.

Note. — The determination of the insensibility zone depends on voltage:

- at rated operating secondary voltage of the transformer it serves to ascertain whether the mean rating is maintained;
- at minimum transformer secondary voltage it serves to ascertain the tendency of the electrodes to dip into the bath.

5.3.3 Determination of total response time of the electrode motion regulating system

Under consideration.

5.4 Check of the rated capacity of the furnace

The furnace, lined according to the manufacturer's requirements, is charged with scrap the quality of which is agreed between the manufacturer and the 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.

5.5 Carrying out a short-circuit test during normal operation

5.5.1 General

To obtain the values of the resistance and reactance of the heavy current line and asymmetry factor on the primary side, the measurements are performed on the primary side of the transformer and the results converted (to give the required values).

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

a) Conditions de mesure

Les mesures sont effectuées pendant un court-circuit de fonctionnement triphasé en fonctionnement normal avec une tension sinusoïdale côté primaire non influencée par d'autres fours. 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. Le circuit d'essai est représenté à la figure 1, page 32. Une autre méthode valable peut éventuellement être appliquée après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

- Notes 1. — Le circuit de courant des appareils de mesure et les appareils d'équipement du four raccordé aux transformateurs de courant dans les circuits desquels on a également placé les appareils de mesure pour l'essai en court-circuit peuvent être shuntés avant l'essai lorsque la charge des transformateurs de courant est dépassée. Durant l'essai, les pinces des trois électrodes doivent être placées au même niveau, de préférence le plus bas possible. Les appareils de mesure utilisés ne doivent pas être de classe inférieure à 0,5 (les wattmètres doivent être calibrés à bas facteur de puissance).
2. — Dans le cas d'un déséquilibre (valeur $K_{as} > 10\%$), les valeurs individuelles des trois phases ne peuvent servir que pour la détermination de la moyenne approximative des trois phases pour chaque essai. Les conditions d'essai pour la détermination de la valeur individuelle approximative pour chaque phase, dans le cas d'un déséquilibre (valeur $K_{as} > 10\%$), sont à l'étude.

b) Méthode 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, sera aussi voisin que possible du courant nominal 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 complet (généralement à la moitié ou aux deux tiers du diamètre de l'électrode), puis immobilisées.

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

L'essai est répété 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:

Mesures du côté primaire

$$I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}, P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}$$

Calcul des valeurs primaires

$$R_{1A} = \frac{P_{1A}}{I_{1A}^2} \quad R_{1B} = \frac{P_{1B}}{I_{1B}^2} \quad R_{1C} = \frac{P_{1C}}{I_{1C}^2} \quad (5)$$

$$Z_{1A} = \frac{U_{1A}}{I_{1A}} \quad Z_{1B} = \frac{U_{1B}}{I_{1B}} \quad Z_{1C} = \frac{U_{1C}}{I_{1C}} \quad (6)$$

$$X_{1A} = \sqrt{\left(\frac{U_{1A}}{I_{1A}}\right)^2 - R_{1A}^2} \quad X_{1B} = \sqrt{\left(\frac{U_{1B}}{I_{1B}}\right)^2 - R_{1B}^2} \quad X_{1C} = \sqrt{\left(\frac{U_{1C}}{I_{1C}}\right)^2 - R_{1C}^2} \quad (7)$$

5.5.2 Determination of resistance and reactance of the heavy current line

a) Measuring conditions

The measurements are made during the three-phase short circuit during normal operation under sinusoidal voltage at the primary side not influenced by other furnaces. The furnace currents, voltages and power losses are determined after melt-down and/or after superheating. The test circuit is shown in Figure 1, page 32. A suitable alternative method may be used by mutual agreement between manufacturer and purchaser.

Notes 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 all three furnace electrodes shall be placed at the same height, preferably as low as possible. The measuring instruments used may not be lower than Class 0.5 (wattmeters must be calibrated at low power factor).

2. — In the case of out-of-balance (values $K_{as} > 10\%$), the individual values, of the three phases, are only applicable for determining the approximate average value of the three phases for each test.
Test conditions for determining the individual approximate values of each phase, including the case of out-of-balance (values $K_{as} > 10\%$), are under consideration.

b) Test procedure

Before the test, the arc furnace transformer shall be switched to a suitable low tapping (reactor inserted, when installed) to ensure that the furnace current under the three-phase operational short-circuit conditions will be 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 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 heavy current line is derived from the following formulae:

Measurement on primary side

$I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}, P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}$

Calculations of primary values

$$R_{1A} = \frac{P_{1A}}{I_{1A}^2} \quad R_{1B} = \frac{P_{1B}}{I_{1B}^2} \quad R_{1C} = \frac{P_{1C}}{I_{1C}^2} \quad (5)$$

$$Z_{1A} = \frac{U_{1A}}{I_{1A}} \quad Z_{1B} = \frac{U_{1B}}{I_{1B}} \quad Z_{1C} = \frac{U_{1C}}{I_{1C}} \quad (6)$$

$$X_{1A} = \sqrt{\left(\frac{U_{1A}}{I_{1A}}\right)^2 - R_{1A}^2} \quad X_{1B} = \sqrt{\left(\frac{U_{1B}}{I_{1B}}\right)^2 - R_{1B}^2} \quad X_{1C} = \sqrt{\left(\frac{U_{1C}}{I_{1C}}\right)^2 - R_{1C}^2} \quad (7)$$

Rapport normal des tensions du transformateur de four

$$k_T = \frac{U_1}{U_2} \quad (8)$$

$$R_{2TA} \approx R_{2TB} \approx R_{2TC} \approx R_{2Tm} = \frac{P_{CuT}}{3 \cdot I_{2T}^2} \quad (9)$$

$$X_{2TA} \approx X_{2TB} \approx X_{2TC} \approx X_{2Tm} = \sqrt{\left(\frac{U_{2T}^2 \cdot u_{kT}}{100 \cdot S_T}\right)^2 - R_{2Tm}^2} \quad (10)$$

Ligne à haute intensité (tension secondaire)

$$R_A \approx \frac{R_{1A}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad R_B \approx \frac{R_{1B}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad R_C \approx \frac{R_{1C}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad (11)$$

$$X_A \approx \frac{X_{1A}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad X_B \approx \frac{X_{1B}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad X_C \approx \frac{X_{1C}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad (12)$$

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \quad Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} \quad Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \quad (13)$$

Dans ces formules:

$\left. \begin{matrix} I_{1A} \\ I_{1B} \\ I_{1C} \end{matrix} \right\}$ = courants mesurés du côté primaire par les ampèremètres A_A , A_B , A_C pendant l'essai

$\left. \begin{matrix} U_{1A} \\ U_{1B} \\ U_{1C} \end{matrix} \right\}$ = tensions de phase mesurées du côté primaire par les voltmètres V_A , V_B , V_C pendant l'essai

$\left. \begin{matrix} P_{1A} \\ P_{1B} \\ P_{1C} \end{matrix} \right\}$ = puissances de phase mesurées du côté primaire par les wattmètres W_A , W_B , W_C pendant l'essai

$\left. \begin{matrix} R_{1A} \\ R_{1B} \\ R_{1C} \end{matrix} \right\}$ = résistances de phase de l'installation du four à arc du côté primaire pendant l'essai

$\left. \begin{matrix} X_{1A} \\ X_{1B} \\ X_{1C} \end{matrix} \right\}$ = réactances de phase de l'installation du four à arc du côté primaire pendant l'essai

$\left. \begin{matrix} Z_{1A} \\ Z_{1B} \\ Z_{1C} \end{matrix} \right\}$ = impédances de phase de l'installation du four à arc du côté primaire pendant l'essai

k_T = rapport des tensions du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

P_{CuT} = pertes de charge du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

I_{2T} = courant secondaire nominal du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

U_{2T} = tension secondaire nominale du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

S_T = puissance apparente nominale du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

u_{kT} = tension de court-circuit nominale, exprimée en pourcentage, du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

$\left. \begin{matrix} R_{2TA} \\ R_{2TB} \\ R_{2TC} \end{matrix} \right\}$ = résistances de phase secondaire du transformateur sur la prise sur laquelle l'essai a été effectué

Furnace transformer voltage ratio

$$k_T = \frac{U_1}{U_2} \quad (8)$$

$$R_{2TA} \approx R_{2TB} \approx R_{2TC} \approx R_{2Tm} = \frac{P_{CuT}}{3 \cdot I_{2T}^2} \quad (9)$$

$$X_{2TA} \approx X_{2TB} \approx X_{2TC} \approx X_{2Tm} = \sqrt{\left(\frac{U_{2T}^2 \cdot u_{kT}}{100 \cdot S_T}\right)^2 - R_{2Tm}^2} \quad (10)$$

Heavy current line (secondary voltage)

$$R_A \approx \frac{R_{1A}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad R_B \approx \frac{R_{1B}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad R_C \approx \frac{R_{1C}}{k_T^2} - R_{2Tm} \quad (11)$$

$$X_A \approx \frac{X_{1A}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad X_B \approx \frac{X_{1B}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad X_C \approx \frac{X_{1C}}{k_T^2} - X_{2Tm} \quad (12)$$

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \quad Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} \quad Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \quad (13)$$

In these formulae:

- $\left. \begin{matrix} I_{1A} \\ I_{1B} \\ I_{1C} \end{matrix} \right\}$ = currents measured on primary side by ammeters A_A , A_B , A_C during test
 $\left. \begin{matrix} U_{1A} \\ U_{1B} \\ U_{1C} \end{matrix} \right\}$ = phase-voltage measured on primary side by voltmeters V_A , V_B , V_C during test
 $\left. \begin{matrix} P_{1A} \\ P_{1B} \\ P_{1C} \end{matrix} \right\}$ = phase-powers measured on primary side by wattmeters W_A , W_B , W_C during test
 $\left. \begin{matrix} R_{1A} \\ R_{1B} \\ R_{1C} \end{matrix} \right\}$ = phase-resistance of main electrical circuit of the arc furnace installation on primary side during test
 $\left. \begin{matrix} X_{1A} \\ X_{1B} \\ X_{1C} \end{matrix} \right\}$ = phase-reactance of main electrical circuit of the arc furnace installation on primary side during test
 $\left. \begin{matrix} Z_{1A} \\ Z_{1B} \\ Z_{1C} \end{matrix} \right\}$ = phase-impedance of main electrical circuit of the arc furnace installation on primary side during test
 k_T = voltage ratio of transformer for the tap on which the test was performed
 P_{CuT} = transformer load losses for the tap on which the test was performed
 I_{2T} = rated secondary transformer current for the tap on which the test was performed
 U_{2T} = rated secondary transformer voltage for the tap on which the test was performed
 S_T = rated apparent power of transformer for the tap on which the test was performed
 u_{kT} = rated percentage impedance voltage of transformer for the tap on which the test was performed

- $\left. \begin{matrix} R_{2TA} \\ R_{2TB} \\ R_{2TC} \end{matrix} \right\}$ = secondary phase-resistances of transformer for the tap on which the test was performed

R_{2Tm} = résistance de phase secondaire moyenne du transformateur sur la prise sur laquelle l'essai a été effectué

$\left. \begin{matrix} X_{2TA} \\ X_{2TB} \\ X_{2TC} \end{matrix} \right\}$ = réactances de phase secondaire du transformateur sur la prise sur laquelle l'essai a été effectué

X_{2Tm} = réactance de phase secondaire moyenne du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été effectué

$\left. \begin{matrix} R_A \\ R_B \\ R_C \end{matrix} \right\}$ = résistances de phase de la ligne à haute intensité

$\left. \begin{matrix} X_A \\ X_B \\ X_C \end{matrix} \right\}$ = réactances de phase de la ligne à haute intensité

$\left. \begin{matrix} Z_A \\ Z_B \\ Z_C \end{matrix} \right\}$ = impédances de phase de la ligne à haute intensité

Notes 1. — Les données relatives au transformateur du four à arc peuvent inclure l'influence de la bobine d'inductance si elle est utilisée. Dans le cas où la bobine d'inductance est saturée pendant l'essai, des précautions spéciales seront prises.

2. — On doit tenir compte des 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 de la ligne à haute intensité est la *moyenne arithmétique* des résistances (réactances) déterminée pendant au moins deux essais.

5.5.3 Détermination du facteur de dissymétrie du côté primaire

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

Note. — En accord entre constructeur et utilisateur, une indication plus détaillée peut être fournie en utilisant les formules (1A) et (1B).

La valeur moyenne arithmétique du facteur de dissymétrie d'au moins deux mesures est adoptée comme résultat d'essai.

La formule (1) donne les résultats pratiques pour les fours avec une dissymétrie caractérisée par un $K_{as} < 10\%$. L'essai montrera la dissymétrie dans la réalisation du four.

Les conditions d'essai pour déterminer le facteur de dissymétrie, dans le cas de déséquilibre notable, $K_{as} \geq 10\%$, sont à l'étude.

5.6 Détermination des principales caractéristiques de fonctionnement pendant la période de fusion

5.6.1 Généralités

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

- consommation spécifique d'énergie électrique pour la fusion (voir paragraphe 3.19);
- taux spécifique de fusion (voir paragraphe 3.20);
- facteur de puissance pendant la période de fusion (voir note 3 du paragraphe 3.22);
- temps net de fusion (voir paragraphe 3.21).

5.6.2 Conditions d'essai

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

La masse volumique apparente de la ferraille doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur. Pour chaque fusion, on détermine les grandeurs suivantes: