

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial electroheating equipment – Test methods for submerged-arc furnaces

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





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60683

Edition 2.0 2011-10

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial electroheating equipment – Test methods for submerged-arc furnaces

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

N

ICS 25.180.10

ISBN 978-2-88912-753-5

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope and object.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Features of the SAF system	8
4.1 Electrical assembly of SAF	8
4.2 Star-delta switch	9
4.3 Types of SAF	9
4.4 SAF process principles.....	9
4.5 Types of electrodes	9
4.6 Electrode system.....	10
4.7 Water cooling	10
4.8 Electrical connection	10
5 Tests and general conditions	10
5.1 General.....	10
5.2 List of tests during cold state.....	11
5.3 List of tests during hot commissioning and hot state	11
6 Technical tests	11
6.1 Electrical insulation resistance	11
6.1.1 General	11
6.1.2 Electrical insulation during erection	11
6.1.3 Electrical insulation during cold test.....	11
6.1.4 Electrical insulation during hot state	12
6.2 Cooling water system	12
6.3 Characteristics of electrode regulation.....	12
6.3.1 Speed of electrode motion	12
6.3.2 Electrode regulator dead band.....	12
6.3.3 Electrode motion response time.....	12
6.3.4 Current control of semiconductor converter (if applicable)	13
6.4 Determination of electrical characteristics during operation	13
6.5 Determination of secondary voltage.....	13
6.6 Operational parameters	13
Bibliography.....	14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL ELECTROHEATING EQUIPMENT –
TEST METHODS FOR SUBMERGED-ARC FURNACES**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60683 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating.

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

Significant technical changes with respect to the previous edition are as follows:

- Clause 1 (*Scope and object*) – the types of furnaces covered by this standard are more clearly defined.
- Clause 2 (*Normative references*) and Clause 3 (*Terms and definitions*) have been updated and completed.
- A new Clause 4 (*Features of the SAF system*) has been added; it mainly concentrates on the tests necessary for high voltage/high current electrical equipment in the installation.
- Clause 5 (*Tests and general conditions*) and Clause 6 (*Technical tests*) have been modified according to today's requirements for safe operation of a SAF.

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

CDV	Report on voting
27/780/CDV	27/797/RVC

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 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INDUSTRIAL ELECTROHEATING EQUIPMENT – TEST METHODS FOR SUBMERGED-ARC FURNACES

1 Scope and object

This International Standard specifies test procedures, conditions and methods according to which the main parameters and the main operational characteristics of a submerged-arc furnace (SAF) with rated electrical power levels above 500 kVA are established.

This standard is applicable to SAF with one or more electrodes.

In order to determine further technical or economic assessments, additional tests may be necessary.

Tests for some special equipment for semiconductor converter controlled furnaces, such as controlled rectifiers or controlled a.c. converters, 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 60398, *Industrial electroheating installations – General test methods*

IEC 60519-1:2010, *Safety in electroheating installations – Part 1: General requirements*

IEC 60519-4, *Safety in electroheat installations – Part 4: Particular requirements for arc furnace installations*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document the terms and definitions given in IEC 600519-1:2010 and the following apply.

NOTE Refer to International Electrotechnical Vocabulary, IEC 60050, for general definitions. Terms relating to industrial electroheat are defined in IEC 60050-841.

3.1 active power

P

mean value of the instantaneous power *p* (in kW) taken under periodic conditions over one period of time *T* (in h):

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt$$

NOTE Active power instantaneous value (r.m.s.) measured at any time, including all phases.

[IEC 60050-131:2002, 131-11-42, modified]

3.2 apparent power

S

power rating of the transformer, energizing the SAF (in MVA)

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{for single-phase SAF})$$

$$S = \sqrt{3} UI \quad (\text{for three-phase SAF})$$

where

U is the voltage, r.m.s., sinusoidal value (in kV)

I is the current, r.m.s. sinusoidal value (in kA)

[IEC 60050-131:2002, 131-11-41, modified]

3.3 bottom electrode

SAFdc electrical conductive elements integrated in the SAF bottom (mainly connected as anode)

3.4 cold state

thermal state of a furnace and its installation, when the temperature of all parts is equal to ambient temperature

3.5 cold test

test of the entire furnace installation, including functions, connections, movements and instrumentation, prior hot commissioning, following erection

3.6 dead band

finite range of electrical values within which a variation of the input variable does not produce any measurable change in the output variable

[IEC 60050-351:2006, 351-24-14, modified]

3.7 electrode

part produced from conductive material to transfer the electric current to the process

NOTE For types of electrodes, see 4.5.

[IEC 60050-841:2004, 841-26-38, modified]

3.8 furnace transformer

transformer feeding the SAF with electrical energy, supplied from the high-voltage network with suitable voltage and current ranges for operation

NOTE 1 Secondary voltage is controlled by on-load tap changer or adjusted during off-circuit.

NOTE 2 There are designs using three or more single phase transformers per furnace.

[IEC 60050-841:2004, 841-26-55, modified]

3.9 furnace electrical losses

P_{loss}

losses caused by the parts of the main electrical circuit, outside the furnace vessel

NOTE Electrical losses of high voltage supply, power factor compensation (when used) or prebaking electrodes are not included in the furnace electrical losses.

3.10 furnace

vessel which consists of bottom, shell and roof, into which the process material is charged

NOTE SAF, constructed from steel, clad with refractory, can be circular / rectangular in open, semi-closed or closed form.

[IEC 60050-841:2004, 841-26-16, modified]

3.11 high-current line

assembly to conduct high current between transformer secondary bus bars and electrode(s), connected in series- (and/or parallel), comprising flexible connections, bus bar system or high current tubes, cables, electrode arms (when used) and contact clamps

3.12 hot commissioning

heating up of the furnace till a defined production is reached

3.13 hot state

thermal condition of the furnace as soon as hot commissioning is finished

3.14 main electrical circuit

electrical equipment for SAF comprising high voltage supply, power factor compensation (when used), switchgear, transformer(s), semiconductor convertors (a.c. or d.c.) (when used), d.c. reactor (when used), high current line, electrode systems with electrodes and burden

3.15 power factor

$\cos \varphi$

ratio of the active power to the apparent power, measured on the primary side of the transformer

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

where

P is the active power (in MW)

S is the apparent power (in MVA)

NOTE In case of harmonics, power factor is determined according to IEC 60146-1-1.

[IEC 60050-131:2002, 131-11-46, modified]

3.16 reactive power

Q

total reactive electrical power (in MVar) generated by the main electrical circuit of a SAF, measured on all phases at the primary side of the transformer

NOTE 1 Instantaneous value of the reactive power measured at any time, including all phases.

NOTE 2 Mean value within a time interval: i.e. generated reactive energy (in MVarh) by the power-on time (in h).
[IEC 60050-131:2002, 131-11-44, modified]

3.17

reactive power compensation

action to optimize the transmission of reactive power during operation

[IEC 60050-603:1986, 603-04-28, modified]

3.18

rectifier

device by means of which alternating current is changed into direct current for SAFdc

[IEC 60050-881:1983, 881-08-11, modified]

3.19

semiconductor converter

electronic converter for electrical power with semiconductor valve devices

NOTE SAFdc: converter to control the direct current (rectifier); SAFac: converter to control alternating current to smooth the power input (graduator).

[IEC 60050-551:1998, 551-12-42, modified]

3.20

smoothing reactor

reactor used to reduce alternating components of a pulsating current, to minimise arc impacts and to ensure arc stability during the process

[IEC 60050-811:1991, 811-26-21, modified]

3.21

specific electric energy consumption

quantity of electrical energy (in kWh) consumed by the SAF for the production of the final product (in t), charging a defined mixture of specified raw materials or for the (s)melting of charged material (in t)

3.22

submerged arc-resistance furnace

SAF

vessel in which a combined arc / resistance heating is used to melt the charged material

[IEC 60050-841:2004, 841-26-12, modified]

4 Features of the SAF system

4.1 Electrical assembly of SAF

In the electrical assembly of a SAF, the following equipment is included:

- high-voltage supply line,
- high voltage switchgear, by which the SAF can be connected/disconnected from the electrical supply under load,
- furnace transformer(s),
- secondary bus bar system,
- semiconductor converter (a.c. or d.c.),

- equipment for reactive power compensation and/or voltage stabilization (if supplied),
- automatic power regulation system,
- boards, panels and desks,
- control, measuring and signalling devices.

4.2 Star-delta switch

Star-delta switch(es) is/are arranged on transformer(s) HV side. It connects the transformer HV windings to wye – or delta connection in order to modify the transformer(s) secondary voltage range by $\sqrt{3}$. Any star-delta switch can be operated in off-circuit condition only.

NOTE When three single-phase transformers are used, the star-delta switch is installed normally inside the transformer vessel. On single-phase transformers, the star-delta switches are installed at the high voltage switchgear.

4.3 Types of SAF

In general the SAF is operated using the a.c. or d.c. technology.

In the SAFac, the electrical energy is conducted to the process via 3 to 6 electrodes. In some SAFac applications (e.g. FeNi furnaces) semiconductor convertors are used for alternating current control.

In the SAFdc, electrical energy is conducted via the anode in the bottom of the furnace through the charge material to the cathode (electrode).

Electrical energy normally forms arcs between the electrode and the charge material or heats up the charge material by the resistance heating (Joule effect).

4.4 SAF process principles

Processing of nonferrous metal, iron alloys, waste recycling, slag and cleaning of slag is possible in the SAF.

It shall be differentiated between the following modes using the SAF for production:

- a) 100 % burden resistance mode (electrodes submerged in the burden), e.g. for the production of FeCr, FeSi;
- b) mix of burden and slag resistance mode (electrodes submerged in burden and slag), e.g. for slag cleaning and settling furnaces for Cu, Pb, Zn;
- c) shielded arc mode (arc below electrode tip is shielded with burden and is in touch with the slag), e.g. producing FeNi;
- d) open arc mode (arc below electrode tip in direct contact with the slag), e.g. in the TiO_2 -slag production and waste recycling.

4.5 Types of electrodes

There are different types of electrodes, i.e.:

- a) prebaked electrodes,
- b) self-baking electrodes (Soederberg electrodes),
- c) extrusion/composite electrodes, which are a combination of Soederberg electrodes with a prebaked electrode as a core,
- d) hollow electrode system, which allow charging of fines via the centre hole (prebaked, self-baking).

The selection of the type of electrode depends mainly on:

- size of the electrode,
- produced material/metallurgy,
- economic aspects such as operational costs.

4.6 Electrode system

The electrode system consists of different options as follows:

- a) an upper electrode part (for slipping and holding) and a lower electrode part, which is connected with the secondary bus bar system to conduct the electrical current to the electrode;
- b) a single electrode arm with electrode clamp which holds the electrode and conducts the electrical energy.

NOTE 1 Occasionally the lower clamp can hold the electrode.

NOTE 2 The electrode port in the roof can be sealed by a gland.

4.7 Water cooling

Electrical equipment of the SAF can be cooled by water. Water circuits can be closed or open. It shall be differentiated between the following water circuits:

- a) furnace transformer, cooled by oil which is indirectly cooled by water,
- b) secondary bus bar system including clamps,
- c) electrode glands,
- d) semiconductor converter for a.c. or d.c. cooled by special treated water which is indirectly cooled by water,
- e) auxiliaries,
- f) d.c. reactor.

4.8 Electrical connection

High current lines of the SAFac with 3 electrodes are mostly arranged in Knapsack connection. The furnace transformer(s) secondary windings are connected in delta at the electrode clamps. Electrodes are connected in star with the burden or slag.

NOTE In SAFac applications with low power, the delta can be closed directly at the transformer.

5 Tests and general conditions

5.1 General

Tests shall be in accordance with the specifications given in IEC 60398 and in agreement with IEC 60519-1 and IEC 60519-4.

Fluctuations in power supply shall be minimal and symmetry of the three phases shall be maximized. In case it is not feasible to switch-off reactive power compensation and/or voltage stabilization during testing, requirements are stated in this standard.

Test procedures and all measurement points are to be agreed upon between the supplier and user.

The type of measurement equipment as well as the layout and arrangement of the measurement points shall be shown in the test report, as far as relevant for the test.

5.2 List of tests during cold state

The following tests shall be conducted prior hot commissioning, at regular intervals and after repair or any modification:

- a) verification of electrical insulation resistance (see 6.1);
- b) check of cooling-water system (see 6.2);
- c) check of electrode motion regulation system and characteristics (see 6.3);
- d) measurement of secondary voltage, after transformer is connected to the electrical supply (see 6.5).

5.3 List of tests during hot commissioning and hot state

The following tests shall be conducted following the cold test(s) during hot commissioning:

- a) tuning of electrode motion regulation system and characteristics (see 6.3.1);
- b) measurement of furnace electrical characteristics (see 6.1);
- c) check of cooling water system (see 6.2);
- d) other main operational parameters (see 6.6):
 - specific electrical energy consumption;
 - production rate;
 - net power-on time;
 - specific electrode wear.

6 Technical tests

6.1 Electrical insulation resistance

6.1.1 General

Electrical insulation of secondary low voltage circuits of SAF shall be tested in three conditions:

- a) during erection (according to IEC 60398),
- b) during cold test: with electrodes mounted without charge material,
- c) during hot commissioning: including charge material.

NOTE 1 Cold and hot test with water cooling in operation.

NOTE 2 Insulation tests according to the commissioning or operation manual.

6.1.2 Electrical insulation during erection

Following the erection of each individual insulated part, insulation shall be proven.

6.1.3 Electrical insulation during cold test

Following erection, electrical insulation is measured between all phases and earthing system.

In case of SAFdc, the electrical insulation measurements shall be carried out between electrode (cathode) and earthing system, bottom electrode (anode) and earthing system and between electrode and bottom electrode.

In case the SAF is water cooled, water shall be circulated in all cooled parts during the test.

6.1.4 Electrical insulation during hot state

Following hot commissioning, measurements shall be carried out between all phases and the earthing system. In case of SAFdc measurement shall be carried out between electrode (cathode) and earthing system, bottom electrode (anode) and earthing system and between electrode and bottom electrode.

In case the SAF is water cooled, water shall be circulated in all cooled parts during the test. The transformer(s) shall not be energized for these tests.

Following maintenance on high current line, measurements shall be carried out between all phases and the earthing system. In case of SAFdc measurement shall be carried out between electrode (cathode) and earthing system, bottom electrode (anode) and earthing system and between electrode and bottom electrode.

6.2 Cooling water system

Tests shall be carried out during normal production and SAF in hot state.

Specific information of the cooling water for the electrical parts (according to supplier's recommendations) shall include:

- flow rates (in m³/h),
- inlet and outlet pressure (in bar),
- maximum inlet and outlet temperature (in °C),
- quality (i.e. hardness, conductivity, etc.).

Cooling water flow rate q is calculated (in m³/h) using the following formula:

$$q = \frac{Q_m}{t}$$

where

Q_m is the measured quantity of water (in m³);

t is the time required for the test (in h).

6.3 Characteristics of electrode regulation

6.3.1 Speed of electrode motion

Electrode motion shall be measured for each electrode separately in two directions, up and down, by means of a stop watch for a defined distance.

In case proportional valves are used, the speed shall be measured with different set points.

Measurements are made during cold test without any material charged into the furnace.

6.3.2 Electrode regulator dead band

Regulator dead band shall be adjusted during normal operation to suit smooth furnace operations according to supplier's recommendations.

6.3.3 Electrode motion response time

Motion response time shall be adjusted for smooth furnace operation according to supplier's recommendations.

NOTE Measurement is also possible using an electric control signal.

6.3.4 Current control of semiconductor converter (if applicable)

The regulating behaviour of the current control shall be verified according to specifications of the supplier.

6.4 Determination of electrical characteristics during operation

Primary voltage, primary current, active power, reactive power, as well as the power factor shall be measured during operation on the primary side of the furnace transformer. In addition, active energy and electrode current shall be measured.

Impedance Z , resistance R , reactance X can be calculated during operation on the basis of the electrical measurements on the primary side of the furnace transformer.

6.5 Determination of secondary voltage

Following the installation of the transformer the correct function of the transformer and tap changer shall be checked prior to hot commissioning. Therefore, the transformer shall be energised and the secondary voltage shall be measured using all taps with primary windings connected in star and delta, as far as applicable. Measured values shall comply with rated values of the transformer test report.

6.6 Operational parameters

The following operational parameters shall be measured and/or calculated:

- a) specific electrical energy consumption (in kWh/t) (according to supplier's specifications),
- b) production rate (in t/h) (according to supplier's specifications),
- c) net power-on time (in h),
- d) electrode consumption (in kg/t).

Bibliography

- [1] IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)
 - [2] IEC 60146-1-1:2009, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	17
1 Domaine d'application et objet.....	19
2 Références normatives.....	19
3 Termes et définitions.....	19
4 Caractéristiques du système de four à arc submergé.....	23
4.1 Ensemble électrique du four à arc submergé.....	23
4.2 Commutateur étoile-triangle.....	23
4.3 Types de fours à arc submergé.....	23
4.4 Principes de procédé de four à arc submergé.....	23
4.5 Types d'électrodes.....	24
4.6 Système d'électrodes.....	24
4.7 Refroidissement par eau.....	24
4.8 Raccordement électrique.....	24
5 Essais et conditions générales.....	25
5.1 Généralités.....	25
5.2 Liste des essais en état froid.....	25
5.3 Liste des essais lors de la mise en service à chaud et à l'état chaud.....	25
6 Essais techniques.....	25
6.1 Résistance d'isolement électrique.....	25
6.1.1 Généralités.....	25
6.1.2 Isolement électrique pendant le montage.....	26
6.1.3 Isolement électrique pendant l'essai à froid.....	26
6.1.4 Isolement électrique à l'état chaud.....	26
6.2 Circuit d'eau de refroidissement.....	26
6.3 Caractéristiques de régulation des électrodes.....	27
6.3.1 Vitesse de déplacement des électrodes.....	27
6.3.2 Zone d'insensibilité des régulateurs d'électrodes.....	27
6.3.3 Temps de réponse de déplacement d'électrodes.....	27
6.3.4 Commande de courant du convertisseur à semiconducteurs (le cas échéant).....	27
6.4 Détermination des caractéristiques électriques en fonctionnement.....	27
6.5 Détermination de la tension secondaire.....	27
6.6 Paramètres de fonctionnement.....	28
Bibliographie.....	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60683 a été établie par le comité d'études 27 de la CEI: Chauffage électrique industriel.

Cette deuxième édition annule et remplace l'édition précédente parue en 1980, dont elle constitue une révision technique.

Les modifications techniques importantes par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Article 1 (*Domaine d'application et objet*) – les types de fours couverts par la présente norme sont définis plus clairement.
- L'Article 2 (*Références normatives*) et l'Article 3 (*Termes et définitions*) ont été mis à jour et complétés.
- Un nouvel Article 4 (*Caractéristiques du système de four à arc submergé*) a été ajouté; il traite principalement des essais nécessaires pour les équipements électriques à haute tension/haute intensité de l'installation.

- L'Article 5 (*Essais et conditions générales*) et l'Article 6 (*Essais techniques*) ont été modifiés en fonction des exigences actuelles pour l'utilisation d'un four à arc submergé en toute sécurité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
27/780/CDV	27/797/RVC

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 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale spécifie les procédures, les conditions et les méthodes d'essai selon lesquelles les paramètres principaux et les caractéristiques de fonctionnement principales des fours à arc submergé dont les niveaux de puissance électrique assignée sont supérieurs à 500 kVA sont établis.

La présente norme est applicable aux fours à arc submergé à une ou plusieurs électrodes.

Afin de déterminer d'autres évaluations techniques ou économiques, des essais supplémentaires peuvent être nécessaires.

Les essais pour des équipements spéciaux des fours commandés par convertisseur à semiconducteurs, tels que les redresseurs commandés ou les convertisseurs à courant alternatif 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 60398, *Chauffage électrique industriel – Méthodes générales d'essai*

CEI 60519-1:2010, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 1: Exigences générales*

CEI 60519-4, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 4: Exigences particulières pour les installations de fours à arc*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60519-1:2010, ainsi que les suivants, s'appliquent.

NOTE Se référer au Vocabulaire Electrotechnique International, CEI 60050, pour les définitions générales. Les termes relatifs à l'électrothermie industrielle sont définis dans la CEI 60050-841.

3.1 puissance active

P

valeur moyenne de la puissance instantanée p (en kW) mesurée périodiquement sur une période donnée T (en h):

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt$$

NOTE Valeur instantanée de la puissance active (eff.) mesurée à tout moment et simultanément sur toutes les phases.

[CEI 60050-131:2002, 131-11-42, modifiée]

3.2

puissance apparente

S

puissance assignée du transformateur, destinée à l'alimentation du four à arc submergé (en MVA)

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{pour four à arc submergé monophasé})$$

$$S = \sqrt{3} UI \quad (\text{pour four à arc submergé triphasé})$$

où

U est la tension, eff., valeur sinusoïdale (en kV)

I est le courant, eff., valeur sinusoïdale (en kA)

[CEI 60050-131:2002, 131-11-41, modifiée]

3.3

électrode de sole

éléments conducteurs électriques du four à arc submergé à courant continu, intégrés au fond du four à arc submergé (principalement connectés en anode)

3.4

état froid

état thermique d'un four et de son installation lorsque la température de tous ses éléments est égale à la température ambiante

3.5

essai à froid

essai de l'intégralité de l'installation de four, avec fonctions, raccordements, déplacements et instruments, avant la mise en service à chaud, après le montage

3.6

zone d'insensibilité

plage finie de valeurs électriques à l'intérieur de laquelle une variation de la variable d'entrée n'entraîne pas de variation mesurable de la variable de sortie

[CEI 60050-351:2006, 351-24-14, modifiée]

3.7

électrode

pièce constituée de matériau conducteur, destinée à transmettre le courant électrique au procédé

NOTE Pour les types d'électrodes, voir 4.5.

[CEI 60050-841:2004, 841-26-38, modifiée]

3.8

transformateur de four

transformateur alimentant le four à arc submergé en énergie électrique, fournie par le réseau à haute tension avec des plages de tension et de courant appropriées au fonctionnement

NOTE 1 La tension secondaire est commandée par le changeur de prise en charge ou réglée lors de la mise hors circuit.

NOTE 2 Certaines conceptions utilisent trois transformateurs monophasés ou plus par four.

[CEI 60050-841:2004, 841-26-55, modifiée]

3.9

pertes électriques du four

P_{perte}

pertes causées par les éléments du circuit électrique principal, à l'extérieur de l'enceinte du four

NOTE Les pertes électriques de l'alimentation haute tension, de compensation du facteur de puissance (s'il y a lieu) ou des électrodes de pré-cuisson ne sont pas incluses dans les pertes électriques du four.

3.10

four

enceinte constituée d'un fond, d'une cuve et d'une voûte, dans laquelle le matériau de procédé est chargé

NOTE Le four à arc submergé en acier, garni de réfractaire, peut être circulaire ou rectangulaire, de forme ouverte, semi-fermée ou fermée.

[CEI 60050-841:2004, 841-26-16, modifiée]

3.11

ligne à haute intensité

ensemble destiné à conduire la haute intensité entre les barres secondaires du transformateur et la ou les électrodes en série (et/ou en parallèle), comprenant des connexions flexibles, un système de barres de raccordement ou des tubes à haute intensité, des câbles, des bras d'électrodes (s'il y a lieu) et des pinces de contact

3.12

mise en service à chaud

chauffage du four jusqu'à ce qu'une production définie soit atteinte

3.13

état chaud

condition thermique du four dès la fin de la mise en service à chaud

3.14

circuit électrique principal

matériel électrique du four à arc submergé comprenant une alimentation haute tension, une compensation du facteur de puissance (s'il y a lieu), un appareillage de connexion, un ou plusieurs transformateurs, des convertisseurs à semiconducteurs (à courant alternatif ou continu) (s'il y a lieu), une inductance à courant continu (s'il y a lieu), une ligne à haute intensité, des systèmes d'électrodes avec électrodes et charge

3.15

facteur de puissance

$\cos \varphi$

rapport entre la puissance active et la puissance apparente, mesuré du côté primaire du transformateur

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

où

P est la puissance active (en MW)

S est la puissance apparente (en MVA)

NOTE En cas d'harmoniques, le facteur de puissance est déterminé conformément à la CEI 60146-1-1.

[CEI 60050-131:2002, 131-11-46, modifiée]

3.16

puissance réactive

Q

puissance électrique réactive totale (en MVar) générée par le circuit électrique principal du four à arc submergé, mesurée sur toutes les phases du côté primaire du transformateur

NOTE 1 Valeur instantanée de la puissance réactive mesurée à tout moment et simultanément sur toutes les phases.

NOTE 2 Valeur moyenne dans une période donnée: c'est-à-dire l'énergie réactive générée (en MVarh) par le temps de maintien de la puissance (en h).

[CEI 60050-131:2002, 131-11-44, modifiée]

3.17

compensation de l'énergie réactive

action dont le but est d'optimiser le transport d'énergie réactive pendant le fonctionnement

[CEI 60050-603:1986, 603-04-28, modifiée]

3.18

redresseur

dispositif au moyen duquel un courant alternatif est transformé en courant continu pour les fours à arc submergé à courant continu

[CEI 60050-881:1983, 881-08-11, modifiée]

3.19

convertisseur à semiconducteurs

convertisseur électronique de puissance électrique comportant des valves à semiconducteurs

NOTE Four à arc submergé à courant continu: convertisseur de commande du courant continu (redresseur); four à arc submergé à courant alternatif: convertisseur de commande du courant alternatif afin de lisser la puissance d'entrée (graduateur).

[CEI 60050-551:1998, 551-12-42, modifiée]

3.20

inductance de lissage

inductance destinée à réduire les composantes alternatives d'un courant pulsatoire, afin de minimiser les impacts des arcs et d'assurer la stabilité de ceux-ci pendant le procédé

[CEI 60050-811:1991, 811-26-21, modifiée]

3.21

consommation d'énergie électrique spécifique

quantité d'énergie électrique (en kWh) consommée par le four à arc submergé pour la production du produit final (en t), en chargeant un mélange défini de matières premières spécifiées ou pour la fusion du matériau chargé (en t)

3.22

four à arc-résistance submergé

SAF (*submerged arc furnace*)

enceinte dans laquelle une combinaison du chauffage par arc et du chauffage par résistance est utilisée pour la fusion du matériau chargé

[CEI 60050-841:2004, 841-26-12, modifiée]

4 Caractéristiques du système de four à arc submergé

4.1 Ensemble électrique du four à arc submergé

L'ensemble électrique d'un four à arc submergé se compose des équipements suivants:

- ligne d'alimentation à haute tension,
- appareillage de connexion haute tension permettant la connexion et la déconnexion du four à arc submergé de l'alimentation électrique en charge,
- transformateur(s) du four,
- système de barres de raccordement secondaires,
- convertisseur à semiconducteurs (courant alternatif ou continu),
- équipement de compensation de puissance réactive et/ou de stabilisation de tension (si présent),
- système de régulation de puissance automatique,
- panneaux, pupitres et bureaux,
- dispositifs de commande, de mesure et de signalisation.

4.2 Commutateur étoile-triangle

Le ou les commutateurs étoile-triangle sont installés du côté HT du ou des transformateurs. Ils raccordent les enroulements HT du transformateur au couplage en étoile ou en triangle, afin de modifier la plage de tensions secondaires du ou des transformateurs par $\sqrt{3}$. Les commutateurs étoile-triangle sont utilisables uniquement en condition de mise hors circuit.

NOTE Lorsque trois transformateurs monophasés sont utilisés, le commutateur étoile-triangle est installé normalement à l'intérieur de l'enceinte des transformateurs. Sur les transformateurs monophasés, les commutateurs étoile-triangle sont installés sur l'appareillage de connexion haute tension.

4.3 Types de fours à arc submergé

En général, le four à arc submergé utilise la technologie courant alternatif ou courant continu.

Sur les fours à arc submergé à courant alternatif, l'énergie électrique est envoyée au procédé via 3 à 6 électrodes. Dans certaines applications de fours à arc submergé à courant alternatif (par exemple, les fours FeNi), des convertisseurs à semiconducteurs sont utilisés pour la commande du courant alternatif.

Sur les fours à arc submergé à courant continu, l'énergie électrique est transmise via l'anode de sole du four par l'intermédiaire du matériau de charge vers la cathode (électrode).

L'énergie électrique forme normalement des arcs entre l'électrode et le matériau de charge ou chauffe le matériau de charge par le chauffage de la résistance (effet Joule).

4.4 Principes de procédé de four à arc submergé

Le traitement de métaux non ferreux, d'alliages de fer, du recyclage de déchets, du laitier et du décrassage est possible dans le four à arc submergé.

Une différence doit être faite entre les modes d'utilisation suivants des fours à arc submergé en production:

- a) mode résistance de charge 100 % (électrodes immergées dans la charge), par exemple pour la production de FeCr, FeSi;
- b) mode mixte résistance de charge et laitier (électrodes immergées dans la charge et le laitier), par exemple pour fours de décrassage et fours de décantation pour Cu, Pb, Zn;

- c) mode arc enrobé (l'arc sous l'extrémité de l'électrode est enrobé par la charge et en contact avec le laitier), par exemple production de FeNi;
- d) mode arc ouvert (arc sous l'extrémité de l'électrode en contact direct avec le laitier), par exemple dans la production de TiO₂-laitier et le recyclage des déchets.

4.5 Types d'électrodes

Il existe différents types d'électrodes:

- a) électrodes précuites,
- b) électrodes à auto-cuisson (électrodes Soederberg),
- c) électrodes à extrusion/composites, qui sont une combinaison d'électrodes Soederberg et d'une électrode préculite au centre,
- d) système d'électrode creux, permettant le chargement de fines via l'orifice central (préculit, auto-cuisson).

Le choix du type d'électrode dépend principalement des éléments suivants:

- taille de l'électrode,
- matériau produit/métallurgie,
- aspects économiques tels que coûts de fonctionnement.

4.6 Système d'électrodes

Le système d'électrodes se compose des différentes options suivantes:

- a) une partie électrode supérieure (pour le patinage et le support) et une partie électrode inférieure, connectée au système de barres de raccordement secondaires pour transmettre le courant électrique à l'électrode;
- b) un seul bras d'électrode avec pince d'électrode, pour supporter l'électrode et transmettre l'énergie électrique.

NOTE 1 Eventuellement, la pince inférieure peut supporter l'électrode.

NOTE 2 L'orifice d'électrode dans la voûte peut être obturé par un presse-étoupe.

4.7 Refroidissement par eau

Le matériel électrique du four à arc submergé peut être refroidi par eau. Les circuits d'eau peuvent être fermés ou ouverts. Une différence doit être établie entre les circuits d'eau suivants:

- a) transformateur de four, refroidi par huile, indirectement refroidie par eau,
- b) système de barres de raccordement secondaires avec pinces,
- c) presse-étoupes d'électrode,
- d) convertisseur à semiconducteurs à courant alternatif ou continu, refroidi par une eau spécialement traitée, indirectement refroidie par eau,
- e) systèmes auxiliaires,
- f) inductance à courant continu.

4.8 Raccordement électrique

Les lignes à haute intensité des fours à arc submergé à courant alternatif à 3 électrodes comportent généralement une connexion de type dorsal. Les enroulements secondaires du ou des transformateurs de four sont raccordés en triangle sur les pinces d'électrode. Les électrodes sont raccordées en étoile à la charge ou au laitier.

NOTE Dans les applications de fours à arc submergé à courant alternatif basse puissance, le triangle peut être fermé directement sur le transformateur.

5 Essais et conditions générales

5.1 Généralités

Ces essais doivent être réalisés conformément aux spécifications données dans la CEI 60398, et conformément à la CEI 60519-1 et à la CEI 60519-4.

Les fluctuations de l'alimentation doivent être minimales, et la symétrie des trois phases doit être optimale. S'il n'est pas possible de désactiver la compensation de puissance réactive et/ou la stabilisation de tension pendant les essais, les exigences sont décrites dans la présente norme.

Les méthodes d'essai et tous les points de mesure doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Le type de matériel de mesure, ainsi que la disposition et l'organisation des points de mesure doivent être présentés dans le rapport d'essais, dans la mesure où ils s'appliquent aux essais.

5.2 Liste des essais en état froid

Les essais suivants doivent être réalisés avant la mise en service à chaud, à intervalles réguliers et à la suite de réparations ou de modifications:

- a) vérification de la résistance d'isolement électrique (voir 6.1);
- b) vérification du système d'eau de refroidissement (voir 6.2);
- c) vérification du système de régulation du déplacement des électrodes et des caractéristiques (voir 6.3);
- d) mesure de la tension secondaire, après connexion du transformateur à l'alimentation électrique (voir 6.5).

5.3 Liste des essais lors de la mise en service à chaud et à l'état chaud

Les essais suivants doivent être réalisés après le ou les essais à froid, pendant la mise en service à chaud:

- a) réglage du système de régulation du déplacement des électrodes et des caractéristiques (voir 6.3.1);
- b) mesure des caractéristiques électriques du four (voir 6.1);
- c) vérification du système d'eau de refroidissement (voir 6.2);
- d) autres paramètres principaux de fonctionnement (voir 6.6);
 - consommation d'énergie électrique spécifique;
 - taux de production;
 - temps net de maintien de la puissance;
 - usure spécifique des électrodes.

6 Essais techniques

6.1 Résistance d'isolement électrique

6.1.1 Généralités

L'isolement électrique des circuits basse tension secondaires du four à arc submergé doit être soumis à essai dans trois cas:

- a) lors du montage (conformément à la CEI 60398),

- b) pendant l'essai à froid: électrodes installées, sans matériau de charge,
- c) pendant la mise en service à chaud: avec matériau de charge.

NOTE 1 Essai à froid et à chaud avec refroidissement par eau en fonctionnement.

NOTE 2 Essais d'isolement conformément au manuel de mise en service ou d'utilisation.

6.1.2 Isolement électrique pendant le montage

Après le montage de chaque élément isolé, un essai d'isolement doit être effectué.

6.1.3 Isolement électrique pendant l'essai à froid

Après le montage, l'isolement électrique est mesuré entre toutes les phases et le système de mise à la terre.

Dans le cas des fours à arc submergé à courant continu, les mesures d'isolement électrique doivent être effectuées entre l'électrode (cathode) et le système de mise à la terre, l'électrode de sole (anode) et le système de mise à la terre, et entre l'électrode et l'électrode de sole.

Dans le cas des fours à arc submergé refroidis par eau, l'eau doit circuler dans tous les éléments refroidis pendant l'essai.

6.1.4 Isolement électrique à l'état chaud

Après la mise en service à chaud, les mesures doivent être effectuées entre toutes les phases et le système de mise à la terre. Dans le cas des fours à arc submergé à courant continu, les mesures doivent être effectuées entre l'électrode (cathode) et le système de mise à la terre, l'électrode de sole (anode) et le système de mise à la terre, et entre l'électrode et l'électrode de sole.

Dans le cas des fours à arc submergé refroidis par eau, l'eau doit circuler dans tous les éléments refroidis pendant l'essai. Le ou les transformateurs ne doivent pas être alimentés pour ces essais.

Après une opération de maintenance sur la ligne à haute intensité, les mesures doivent être effectuées entre toutes les phases et le système de mise à la terre. Dans le cas des fours à arc submergé à courant continu, les mesures doivent être effectuées entre l'électrode (cathode) et le système de mise à la terre, l'électrode de sole (anode) et le système de mise à la terre, et entre l'électrode et l'électrode de sole.

6.2 Circuit d'eau de refroidissement

Les essais doivent être réalisés en production normale et avec le four à arc submergé à l'état chaud.

Les informations spécifiques relatives à l'eau de refroidissement des éléments électriques (conformément aux recommandations du fournisseur) doivent comprendre:

- les débits (en m³/h),
- la pression d'entrée et de sortie (en bar),
- la température maximale d'entrée et de sortie (en °C),
- la qualité (c'est-à-dire dureté, conductivité, etc.).

Le débit de l'eau de refroidissement q est calculé (en m³/h) conformément à la formule suivante:

$$q = \frac{Q_m}{t}$$

où

Q_m est la quantité d'eau mesurée (en m³);

t est la durée requise de l'essai (en h).

6.3 Caractéristiques de régulation des électrodes

6.3.1 Vitesse de déplacement des électrodes

Le déplacement des électrodes doit être mesuré individuellement pour chaque électrode dans les deux sens, montée et descente, à l'aide d'une montre chronographe sur une distance définie.

Si des valves proportionnelles sont utilisées, la vitesse doit être mesurée sur différents points de consigne.

Les mesures sont effectuées lors de l'essai à froid sans matériau chargé dans le four.

6.3.2 Zone d'insensibilité des régulateurs d'électrodes

La zone d'insensibilité des régulateurs doit être ajustée pendant le fonctionnement normal, afin de permettre un bon fonctionnement du four, conformément aux recommandations du fournisseur.

6.3.3 Temps de réponse de déplacement d'électrodes

Le temps de réponse de déplacement doit être ajusté afin de permettre un bon fonctionnement du four, conformément aux recommandations du fournisseur.

NOTE La mesure est également possible en utilisant une commande à signaux électriques.

6.3.4 Commande de courant du convertisseur à semiconducteurs (le cas échéant)

La régulation de la commande de courant doit être vérifiée conformément aux spécifications du fournisseur.

6.4 Détermination des caractéristiques électriques en fonctionnement

La tension primaire, le courant primaire, la puissance active, la puissance réactive, ainsi que le facteur de puissance, doivent être mesurés pendant le fonctionnement du côté primaire du transformateur du four. En outre, l'énergie active et le courant d'électrode doivent être mesurés.

L'impédance Z , la résistance R , la réactance X peuvent être calculées pendant le fonctionnement sur la base des mesures électriques du côté primaire du transformateur du four.

6.5 Détermination de la tension secondaire

Après l'installation du transformateur, le bon fonctionnement du transformateur et du changeur de prise doit être vérifié avant la mise en service à chaud. Par conséquent, le transformateur doit être mis sous tension et la tension secondaire doit être mesurée sur toutes les prises avec les enroulements primaires connectés en étoile et en triangle, dans la mesure du possible. Les valeurs mesurées doivent être conformes aux valeurs assignées du rapport d'essais du transformateur.

6.6 Paramètres de fonctionnement

Les paramètres de fonctionnement suivants doivent être mesurés et/ou calculés:

- a) consommation d'énergie électrique spécifique (en kWh/t) (conformément aux spécifications du fournisseur),
- b) taux de production (en t/h) (conformément aux spécifications du fournisseur),
- c) temps net de maintien de la puissance (en h),
- d) consommation des électrodes (en kg/t).

Bibliographie

- [1] CEI 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible à l'adresse <<http://www.electropedia.org>>)
 - [2] CEI 60146-1-1, *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécification des exigences de base*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch