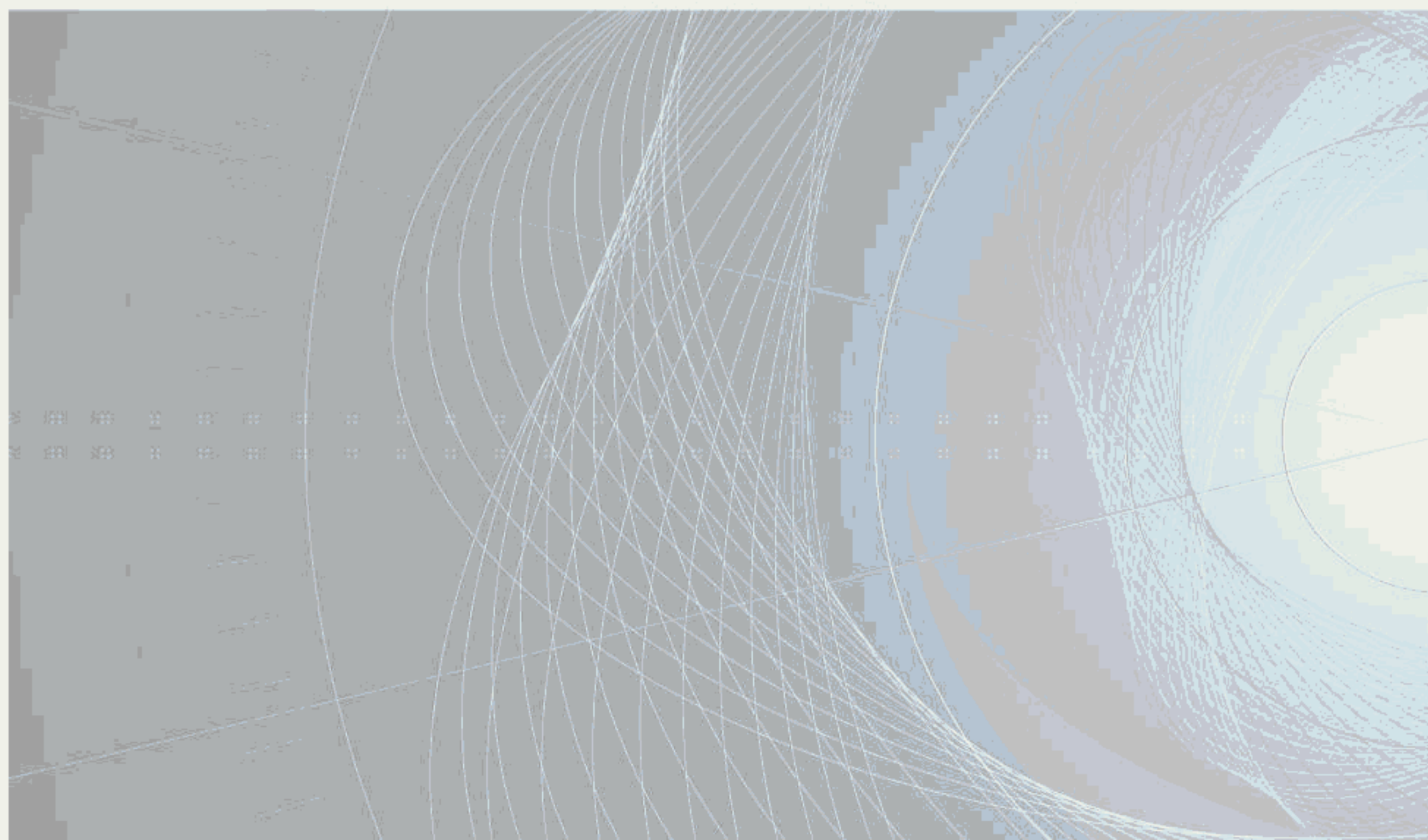


INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Installations for electroheating and electromagnetic processing – Test methods
for electroslag remelting furnaces**

**Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique – Méthodes
d'essai des fours de refusion sous laitier électroconducteur**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.



IEC 60779

Edition 3.0 2020-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Installations for electroheating and electromagnetic processing – Test methods
for electroslag remelting furnaces**

**Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique – Méthodes
d'essai des fours de refusion sous laitier électroconducteur**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.180.10

ISBN 978-2-8322-8447-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
3.1 General	7
3.2 Energy efficiency	8
3.3 State and parts	8
4 Basic provisions for testing and test conditions	9
5 Comparing equipment or installations	9
6 Measurements and workloads	9
7 Numerical modelling	9
8 Technical tests	10
8.100 Measurement of the effective stroke of the electrode ram motion	10
8.101 Measurement of the speed of the electrode motion	10
8.102 Measurement of the time interval for exchanging electrodes	10
8.103 Measurement of the open-circuit secondary voltage of the electroheating installation	10
8.104 Measurement of the electrical parameters of the secondary circuit of the electroheating installation	10
8.104.1 General	10
8.104.2 Carrying out a short-circuit test	11
8.104.3 Measurement of electrical parameters of the secondary circuit under normal operating conditions	12
8.104.4 Measurement of currents of the coaxial return conductors	14
8.105 Measurement of the active power, reactive power and power factor of the electroheating installation	14
8.106 Measurement of the melting rate of consumable electrode(s)	14
8.107 Measurement of vacuum parameters for a vacuum electros slag remelting furnace	14
8.107.1 Measurement of the limit vacuum pressure	14
8.107.2 Measurement of the pumping time	14
8.107.3 Measurement of pressure rise rate	14
8.107.4 Measurement of working pressure in the vacuum chamber of a furnace	15
8.108 Measurement of the pressure in the chamber of a pressurized electros slag remelting furnace	15
8.109 Measurement of the gas composition of an electros slag remelting furnace working under an inert gas atmosphere	15
9 Efficiency of the installation	15
Annex A (informative) Energy efficiency assessment	16
Annex B (informative) Visual display of energy efficiency related information	17
Annex C (informative) Estimating energy use	18
Annex D (informative) Energy recoverability	19
Annex AA (normative) Explanatory diagrams for symbols and definitions relating to the power circuit of electros slag remelting equipment	20
AA.1 Power circuit of electros slag remelting equipment (see Figure AA.1 to Figure AA.3)	20

Bibliography	23
Figure AA.1 – Example of a single-phase electroslag remelting furnace circuit	20
Figure AA.2 – Example of a three-phase electroslag remelting furnace circuit	21
Figure AA.3 – Example of a coaxial electroslag remelting furnace circuit	22

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INSTALLATIONS FOR ELECTROHEATING
AND ELECTROMAGNETIC PROCESSING –
TEST METHODS FOR ELECTROSLAG REMELTING 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 60779 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating and electromagnetic processing.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2005. It constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- the structure has been redrafted according to IEC 60398:2015;
- the scope and object have been redrafted;
- the terms/definitions, normative references and bibliography have been updated and completed;
- all test methods and content from IEC 60779:2005 that have been included in IEC 60398:2015 have been removed to avoid any duplication.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
27/1128/FDIS	27/1130/RVD

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

This standard is to be read in conjunction with IEC 60398:2015. It supplements or modifies the corresponding clauses of IEC 60398:2015. Where the text indicates a "modification" of, "addition" to or a "replacement" of the relevant provision of IEC 60398:2015, these changes are made to the relevant text of IEC 60398:2015. Where no change is necessary, the words "This clause of IEC 60398:2015 is applicable" are used. When a particular subclause of IEC 60398:2015 is not mentioned in this standard, that subclause applies as far as is reasonable. When a particular subclause of IEC 60398:2015 is not applicable, the word "Void" is used.

Additional specific provisions to those in IEC 60398:2015, given as individual clauses or subclauses, are numbered starting from 101.

NOTE The following numbering system is used:

- subclauses, tables and figures that are numbered starting from 101 are additional to those in IEC 60398:2015;
- unless notes are in a new subclause or involve notes in IEC 60398:2015, they are numbered starting from 101, including those in a replaced clause or subclause;
- additional annexes are lettered AA, BB, etc.

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

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

INSTALLATIONS FOR ELECTROHEATING AND ELECTROMAGNETIC PROCESSING – TEST METHODS FOR ELECTROSLAG REMELTING FURNACES

1 Scope

Clause 1 of IEC 60398:2015 is replaced by the following.

Replacement:

This International Standard specifies the test procedures, conditions and methods for determining the main performance parameters and operational characteristics of electroslag remelting furnaces.

Measurements and tests that are solely used for the verification of safety requirements of the installations are outside the scope of this document and are covered by IEC 60519-1 and IEC 60519-8.

This document applies to industrial electroslag remelting furnaces, the rated capacity of which is equal to, or greater than, 50 kg.

This document is applicable to industrial electroslag remelting furnaces having one or more electrodes and having different melting power supplies, such as alternating current, direct current, or low-frequency current.

This document includes the concept and material on energy efficiency dealing with the electrical and processing parts of the installations, as well as the overall performance.

2 Normative references

Clause 2 of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

Replacement:

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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.

Modification:

Delete the footnotes .

Additions:

IEC 60398:2015, *Installations for electroheating and electromagnetic processing – General performance test methods*

IEC 60519-8, *Safety in installations for electroheating and electromagnetic processing – Part 8: Particular requirements for electroslag remelting furnaces*

IEC 60676:2011, *Industrial electroheating equipment – Test methods for direct arc furnaces*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60398:2015 as well as the following apply.

3.1 General

Additions:

3.1.101

electroheating installation with an electroslag remelting furnace

complete assembly of electroheating equipment and electrical and mechanical accessories necessary for operation and utilization of an electroslag remelting furnace

3.1.102

power of an electroheating installation

apparent power S (in kVA) or active power P (in kW) measured at the input of the supply line

3.1.103

power factor of an electroheating installation

$\cos\varphi$

ratio of the active power to the apparent power measured at the input of the supply line

3.1.104

on-load voltage of an electroslag remelting furnace

U_F

voltage measured between two points, which, depending on the type of a furnace, are either the base plate, the electrode clamping device(s) bringing the melting electrical current to the consumable electrode(s)/stub(s), or the point of common connection of the multiple return conductors

Note 1 to entry: In case of a furnace without two electrodes corresponding to single-phase AC power supply, voltage is measured between the base plate and the electrode clamping device(s), seeing U_F in Figure AA.1 and Figure AA.2.

Note 2 to entry: In case of a furnace with two electrodes corresponding to single-phase AC power supply, voltage is measured between the two electrode clamping devices.

Note 3 to entry: In case of a furnace of a coaxial design for a single-phase AC power supply, the voltage is measured between the electrode clamping device and the point of common connection of the multiple return conductors, seeing U_F in Figure AA.3.

3.1.105

rated furnace frequency

f_n

value corresponding to the rated furnace current, if the furnace is built for a frequency range

Note 1 to entry: The rated furnace frequency is expressed in Hz.

3.1.106

rated furnace current

I_n

maximum current for continuous operation for which the furnace is designed

3.1.107

rated values of an electroslag remelting furnace

rated values, including rated furnace current I_n , rated furnace power P_n , and rated furnace frequency f_n , for which the furnace is designed

3.1.108

melting rate of consumable electrode

V_m

quantity of remelted consumable electrode(s) measured in kilograms within a unit time

Note 1 to entry: The melting rate of consumable electrode is expressed as kg/min.

3.2 Energy efficiency

Addition:

3.2.101

specific energy consumption

e

ratio of the total amount of electric energy measured at the input of the supply line, which is consumed by an electroheating installation for melting the charge in normal operating conditions agreed upon between the manufacturer and the user, to the weight of the ingot produced

Note 1 to entry: The specific energy consumption is expressed as kWh/kg.

3.3 State and parts

Additions:

3.3.101

continuous operation of a furnace

operation during which the solid ingot is produced and solidified and the consumable electrode is progressively added during the whole process

3.3.102

steady state of an electrosag remelting furnace

state of a furnace in which, in continuous operation, electrical and thermal parameters have reached relatively constant values

3.3.103

mould of an electrosag remelting furnace

water-cooled non-consumable crucible which shapes the ingot to be produced by the electrosag remelting process and which contains the molten slag

3.3.104

consumable electrode

solid part(s) in contact with the molten slag which carries the electrical current necessary for the melting operation and is constituted of the material necessary for the formation of the ingot

3.3.105

water-cooled base plate of an electrosag remelting furnace

water-cooled plate installed at the bottom of the mould to contain liquid metal and slag at the beginning of melting in any case, and connected to the cable(s) or busbar(s) to make sure that the current flows through the secondary electrical circuit in the case of furnace operation with one consumable electrode

3.3.106

furnace high-voltage switch

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

3.3.107

electrosag remelting furnace transformer

transformer supplying an electrosag remelting furnace

3.3.108**secondary electrical circuit of an electrosag remelting furnace**

electrical circuit which is closed by the melting power supply and may include

- a) output terminals of melting power supply;
- b) high-current feeder (busbars and/or cables);
- c) bus switches, if required;
- d) electrode clamp;
- e) electrode stub;
- f) consumable electrode or electrodes (depending on the connection system);
- g) conductive molten slag (not included in the short-circuit test);
- h) remelted ingot (not included in the case of the furnace with more than two electrodes);
- i) base plate (depending on the connection system)

3.3.109**electrode clamp**

metallic, water-cooled equipment for holding an electrode and supplying the current to the electrode

3.3.110**coaxial arrangement of the electrosag remelting furnace**

arrangement of more than two return conductors symmetrically positioned around the crucible for the electrosag remelting furnace

4 Basic provisions for testing and test conditions

Clause 4 of IEC 60398:2015 is applicable.

5 Comparing equipment or installations

Clause 5 of IEC 60398:2015 is applicable.

6 Measurements and workloads

Clause 6 of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

6.4.3 Measurement positions

Addition:

For measurement positions of all electrical parameters of the power circuit of electrosag remelting equipment, see Figure AA.1-Figure AA.3, being at output terminals of supply disconnecting device for the electric consumption measurement of the power circuit, and at the output terminals of the power distribution cabinet in shop for other electrical and mechanical auxiliaries (see 4.3 of IEC 60398:2015).

7 Numerical modelling

Clause 7 of IEC 60398:2015 is applicable.

8 Technical tests

Clause 8 of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

Additions:

8.100 Measurement of the effective stroke of the electrode ram motion

The effective stroke of the electrode ram motion is the distance between the upper limited position and the lower limited position of the electrode ram where the motion stops.

The measurement shall be made with a meter ruler when the main power of the furnace is off.

8.101 Measurement of the speed of the electrode motion

The measurement shall be made with manual control of the moving system of the electrode in two directions under the condition that the furnace is equipped with the electrode(s) of the largest weight and length allowed by the designer.

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

The measurement of the speed of motion shall be carried out by means of a stop-watch (or electronic time-base control), noting the distance covered by the electrode arm relative to its fixed support.

8.102 Measurement of the time interval for exchanging electrodes

The purpose of this test is to check if the time interval for exchanging electrodes meets the requirements agreed between the manufacturer and the user when the furnace is equipped with two sets of electrode feed drive systems.

The time to be measured with a stop-watch is the time interval from the moment when the secondary current becomes zero after the first electrode has melted and pulled out of the molten slag to the moment when the next electrode is dipped into the slag pool and the secondary current flows in the circuit.

8.103 Measurement of the open-circuit secondary voltage of the electroheating installation

This test shall be carried out across the melting power supply terminals (see item 6 in Figure AA.1).

If the installation is provided with a regulation system, the minimum and the maximum open-circuit secondary voltages shall be measured.

8.104 Measurement of the electrical parameters of the secondary circuit of the electroheating installation

8.104.1 General

The purpose of this test is to check if the characteristics of the secondary circuit of the furnace meet the requirements agreed between the manufacturer and the user.

8.104.2 Carrying out a short-circuit test

This test, which is not applicable for DC electroslag remelting furnace, shall be carried out under the following conditions. The furnace shall be equipped with the electrode(s) of the largest weight and length allowed by the designer. The electrical and magnetic properties of the electrode material shall be defined beforehand. The electrode(s) shall be brought into electrical contact with the base plate. The possible test circuit is shown in Figure AA.1. A suitable alternative method may be used by mutual agreement between the manufacturer and the user.

The voltage supply shall be set at its minimum.

The voltage shall be increased progressively until the rated current of the furnace is achieved.

The tests are carried out at least twice. For every test, the following electrical parameters shall be measured or calculated.

- a) Active power P_2 on the secondary side of the furnace transformer – measured with wattmeters.

If, in some cases, it is difficult to measure P_2 , the active power P_1 shall be measured on the primary side of the furnace transformer with wattmeters, and then P_2 calculated as:

$$P_2 = P_1 - P_{CuT} \quad (1)$$

- b) I_2 , U_2 on the secondary side of the furnace transformer – measured with ammeters and voltmeters, respectively.

- c) Calculation of the following secondary values:

$$S_2 = I_2 U_2 \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{P_2}{I_2^2} \quad (3)$$

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad (4)$$

$$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} \quad (5)$$

$$\cos \phi_2 = \frac{P_2}{S_2} \quad (6)$$

where

- P_1 is the active power measured during the test on the primary side by a wattmeter;
 P_2 is the active power measured during the test on the secondary side by a wattmeter or calculated;
 P_{CuT} is the transformer load loss for the tap on which the test was performed (the value is taken from the manufacturer's specification);
 S_2 is the apparent power measured during the test on the secondary side of the transformer;

- I_2 is the rated secondary transformer current when the test was performed;
- U_2 is the secondary transformer voltage when the rated secondary transformer current is achieved;
- R_2 is the resistance of the secondary circuit;
- X_2 is the reactance of the secondary circuit;
- Z_2 is the impedance of the secondary circuit;
- $\cos\phi_2$ is the power factor of the secondary circuit.

In the case of a furnace with a three-phase AC power supply corresponding to three consumable electrodes, the test method should refer to 6.4 of IEC 60676:2011. The test conditions are the same as those described in 6.4 of IEC 60676:2011.

8.104.3 Measurement of electrical parameters of the secondary circuit under normal operating conditions

If the short-circuit test gives rise to some difficulties and brings about damage of the base plate, it may be agreed between the manufacturer and the user that this test shall be replaced by tests which prove that, in the normal operating conditions of the furnace, the electrical parameters of the secondary circuit remain in the range stated by the manufacturer.

The measurement shall be carried out during continuous operation of the furnace after steady state has been achieved while the furnace is working at its rated current (I_n).

a) In the case of a furnace equipped with single-phase AC power supply

The tests are carried out at least twice. For every test, the following electrical parameters shall be measured or calculated.

- 1) Active power P_2 on the secondary side of the furnace transformer – measured with wattmeters.

If, in some cases, it is difficult to measure P_2 , the active power P_1 shall be measured on the primary side of the furnace transformer with wattmeters, and then calculated as:

$$P_2 = P_1 - P_{CuT} \quad (7)$$

- 2) Current I_2 on the secondary side of the furnace transformer – measured with ammeters, and voltages U_2 , U_F measured with voltmeters.

- 3) Then the following secondary values are calculated:

$$S_2 = I_2 U_2 \quad (8)$$

$$\cos\phi_2 = \frac{P_2}{S_2} \quad (9)$$

where

U_F is the on-load voltage of an electroslog remelting furnace.

b) In the case of a furnace equipped with a three-phase AC power supply

The possible test circuit is shown in Figure AA.2. The tests are carried out at least twice. For every test, the following electrical parameters shall be measured or calculated.

- 1) Active powers P_{2A} , P_{2B} , P_{2C} on the secondary side of the furnace transformer measured with wattmeters.

If, in some cases, it is difficult to measure P_{2A}, P_{2B}, P_{2C} , the active power P_{1A}, P_{1B}, P_{1C} shall be measured on the primary side of the furnace transformer with wattmeters, and then P_{2A}, P_{2B}, P_{2C} calculated:

$$P_{2A} = P_{1A} - 1/3 P_{CuT} \quad P_{2B} = P_{1B} - 1/3 P_{CuT} \quad P_{2C} = P_{1C} - 1/3 P_{CuT} \quad (10)$$

2) Currents I_{2A}, I_{2B}, I_{2C} , on the secondary side of furnace transformer measured with ammeters, and voltages $U_{2A}, U_{2B}, U_{2C}, U_{FA}, U_{FB}, U_{FC}$ measured with voltmeters.

3) Then the following secondary values are calculated:

$$S_{2\mu} = U_{2\mu} \cdot I_{2\mu} \quad (11)$$

$$Q_{2\mu} = \sqrt{S_{2\mu}^2 - P_{2\mu}^2} \quad (12)$$

$$S_{2\Sigma}^2 = \sum_{\mu=1}^3 P_{2\mu}^2 + \sum_{\mu=1}^3 Q_{2\mu}^2 \quad (13)$$

$$P_2 = P_{2A} + P_{2B} + P_{2C} \quad (14)$$

$$\cos\phi_2 = \frac{P_{2\Sigma}}{S_{2\Sigma}} \quad (15)$$

where

P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}	are the phase powers measured on the primary side by wattmeters;
P_{2A}, P_{2B}, P_{2C}	are the phase powers measured on the secondary side by wattmeters or calculated;
P_{CuT}	is the three-phase transformer load loss for the tap on which the test was performed (the value is taken from the manufacturer's specification);
μ	is the phase A, B, C, respectively;
$I_{2\mu}$	is the rated current of each phase ($\mu = A, B, C$) measured on the secondary side by ammeter;
$U_{2\mu}$	is the phase voltages of each phase ($\mu = A, B, C$) measured on the secondary side by voltmeter;
$P_{2\mu}$	is the active power of each phase ($\mu = A, B, C$) on the secondary side;
$Q_{2\mu}$	is the reactive power of each phase ($\mu = A, B, C$) on the secondary side;
$S_{2\mu}$	is the apparent power of each phase ($\mu = A, B, C$) on the secondary side;
$P_{2\Sigma}, Q_{2\Sigma}, S_{2\Sigma}$	are the total active power, total reactive power and total apparent power on the secondary side, respectively;
U_{FA}, U_{FB}, U_{FC}	are the phase on-load voltages of an electroslog remelting furnace.

8.104.4 Measurement of currents of the coaxial return conductors

In the case of an electrosag remelting furnace of a coaxial design for a single phase AC supply, the secondary current shall be measured by separately measuring the current in each of the return conductors, respectively, and then summing the currents to derive the total current and deriving the current difference to determine coaxiality, as shown in Figure AA.3.

8.105 Measurement of the active power, reactive power and power factor of the electroheating installation

The test comprises measurement, at the input terminals of the power supply (see item 4 in Figure AA.1), of the power of an electroheating installation (defined in 3.1.102) and the power factor of an electroheating installation (defined in 3.1.103).

The measurement of the active power is made by means of a wattmeter (at least of class 1.5). The measurement of the reactive power is made by a varmeter (at least of class 1.5).

NOTE If a suitable varmeter is not available, the reactive power can be calculated from the measured values of current and voltage.

The measurement shall be carried out during continuous operation of the furnace after steady state has been achieved.

The power factor is calculated from the active and reactive powers measured as mentioned above or, when the measurement of the reactive power has not been made, from the active power value and the value of the apparent power calculated from the measured voltage and current values.

Attention should be paid to the fact that harmonics might affect the results of measurements.

8.106 Measurement of the melting rate of consumable electrode(s)

The measurement shall be carried out with the load cells during continuous operation of the furnace if the furnace is equipped with a load-cell system. The test conditions and procedure shall be agreed upon between the manufacturer and the user.

For a furnace without a load-cell system, it may be replaced by tests which prove that, in normal operating conditions of the furnace, the melting rate of consumable electrode(s) remains in the range stated by the manufacturer.

8.107 Measurement of vacuum parameters for a vacuum electrosag remelting furnace

8.107.1 Measurement of the limit vacuum pressure

The test is made in the cold state with vacuum instruments installed in the vacuum system of a furnace. The vacuum pumps are switched on until the pressure in the furnace reaches a minimum value. The vacuum pressure should remain in the range stated by the manufacturer.

8.107.2 Measurement of the pumping time

The pumping time is the time interval during which the vacuum pressure decreases from the atmospheric pressure to the limit value after the vacuum pumps are switched on in the above test (see 8.107.1).

8.107.3 Measurement of pressure rise rate

The test shall be performed after all the vacuum valves in the vacuum chamber are closed and the pumps are switched off when the above test is finished (see 8.107.1). The pressure rise rate can be calculated as

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{\Delta t} \quad (16)$$

where

Δp is the pressure rise rate (Pa/h);

p_1 is the pressure first recorded in the vacuum chamber (Pa);

p_2 is the pressure secondly recorded in the vacuum chamber (Pa);

Δt is the time interval between two recording moments (h).

8.107.4 Measurement of working pressure in the vacuum chamber of a furnace

The test shall be carried out when the furnace is in the hot state during the production period. The remelted material and the melting process shall be agreed upon between the manufacturer and the user.

The test is made with vacuum instruments installed in the vacuum system of the furnace.

8.108 Measurement of the pressure in the chamber of a pressurized electroslag remelting furnace

The measurement shall be carried out during continuous operation of the furnace after steady state has been achieved.

The test is made by means of a manometer (at least of class 1.5) installed in the pressurized system of a furnace.

8.109 Measurement of the gas composition of an electroslag remelting furnace working under an inert gas atmosphere

The measurement shall be carried out during continuous operation of the furnace after steady state has been achieved.

The gas sample is taken up from an outlet of the protective gas chamber and analysed by a mass spectrometer or other method agreed between the manufacturer and the user.

9 Efficiency of the installation

Clause 9 IEC 60398:2015 is applicable.

Annex A
(informative)

Energy efficiency assessment

Annex A of IEC 60398:2015 is applicable.

Annex B
(informative)

Visual display of energy efficiency related information

Annex B of IEC 60398:2015 is applicable.

Annex C
(informative)

Estimating energy use

Annex C of IEC 60398:2015 is applicable.

Annex D
(informative)

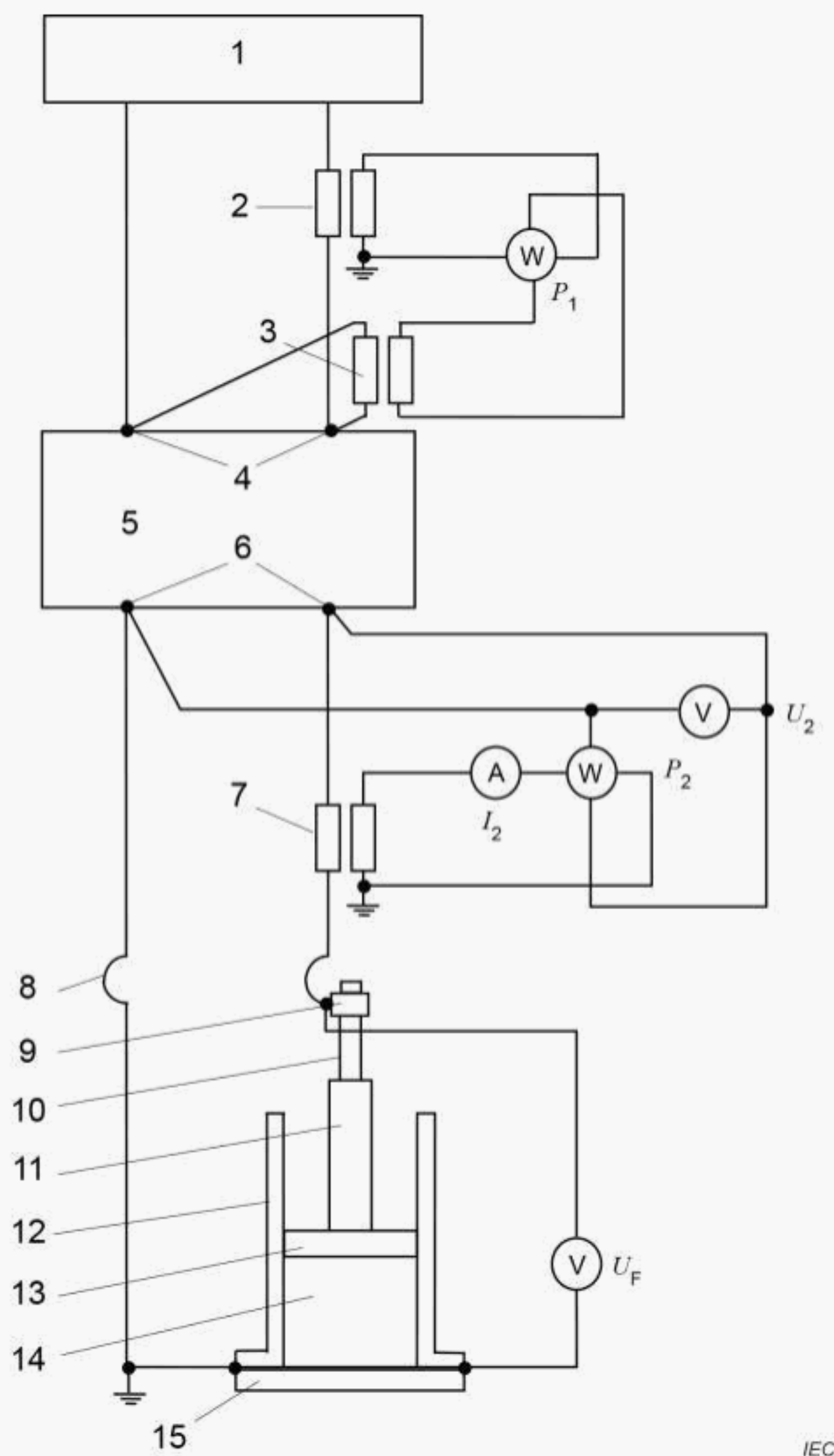
Energy recoverability

Annex D of IEC 60398:2015 is applicable.

Annex AA (normative)

Explanatory diagrams for symbols and definitions relating to the power circuit of electroslag remelting equipment

AA.1 Power circuit of electroslag remelting equipment (see Figure AA.1 to Figure AA.3)



IEC

Key

1	high-voltage network	9	electrode clamp
2	current transformer	10	stub
3	potential transformer	11	electrode
4	AC input terminals	12	crucible
5	melting power supply	13	molten slag
6	output terminals	14	ingot
7	current transformer	15	water-cooled base plate
8	cables		

NOTE Other symbols are given in 8.104.2.

Figure AA.1 – Example of a single-phase electroslag remelting furnace circuit

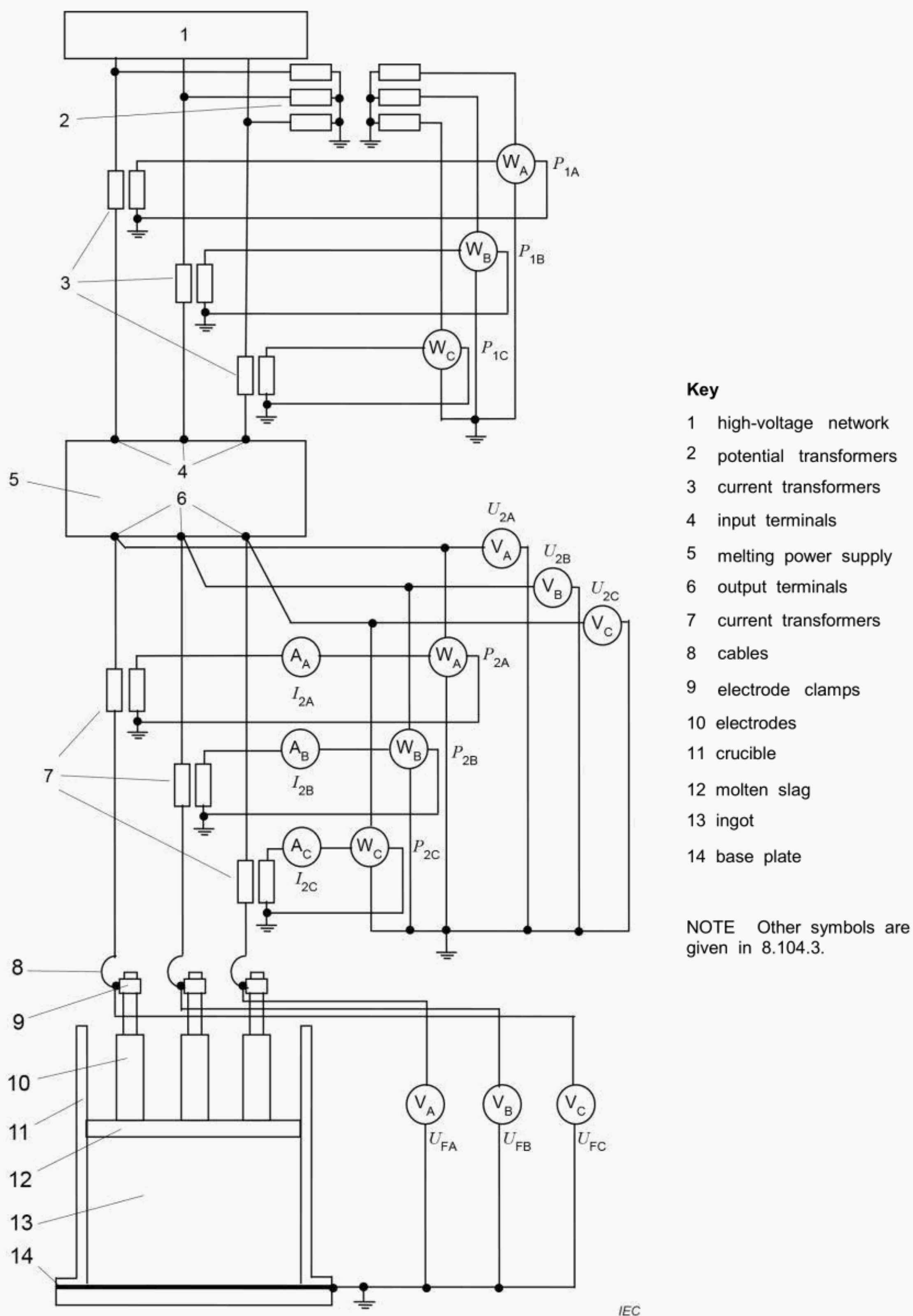
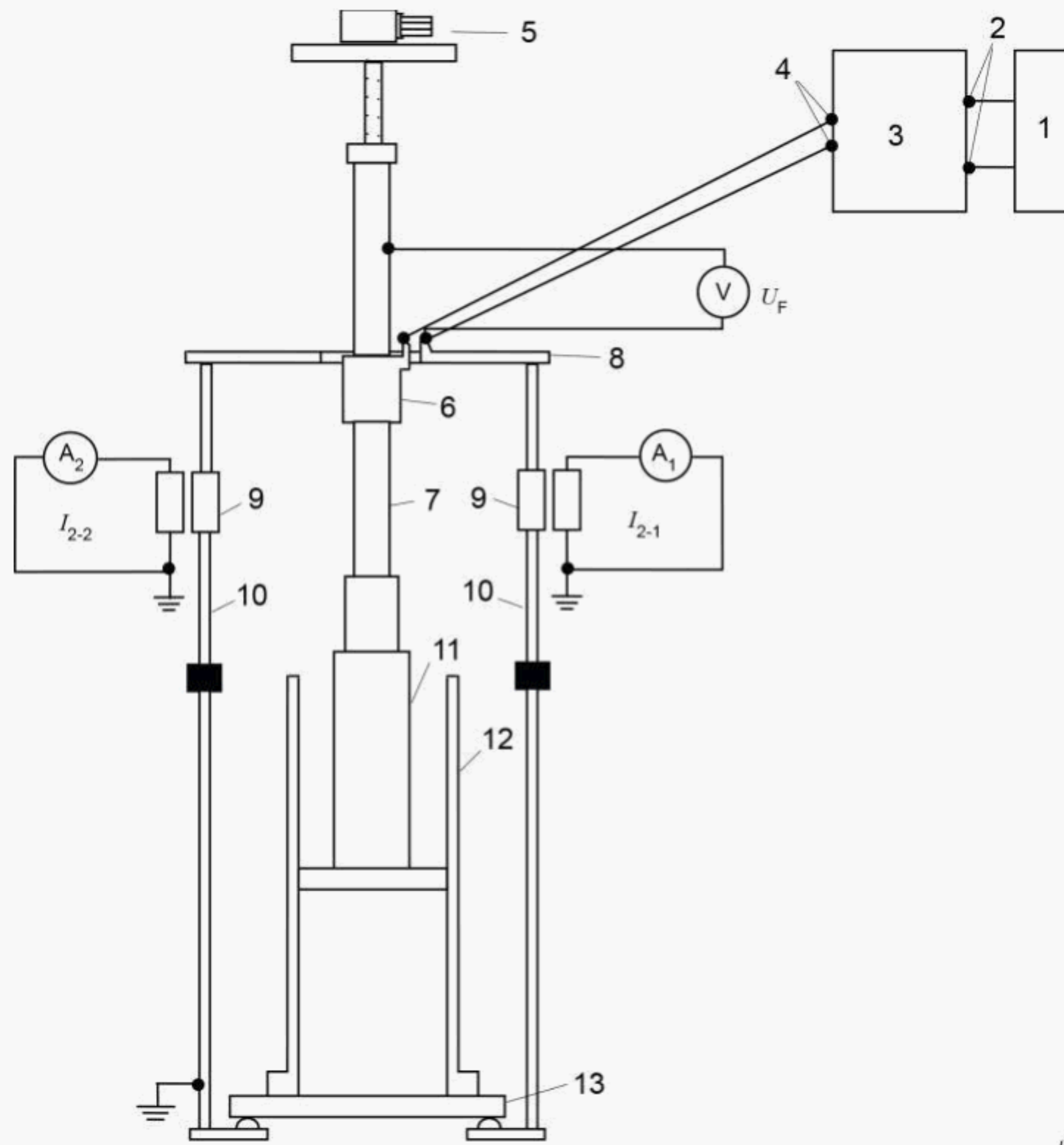


Figure AA.2 – Example of a three-phase electroslag remelting furnace circuit



IEC

Key

- | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|--|
| 1 | high-voltage network | 9 | current transformer (2 of 4 shown) |
| 2 | AC input terminals | 10 | return bus conductor (2 of 4 shown) |
| 3 | single-phase melting power supply | 11 | electrode |
| 4 | output terminals | 12 | crucible |
| 5 | ram drive | 13 | water-cooled base plate |
| 6 | sliding contact | I_{2-1} | current in No. 1 of the return conductor |
| 7 | ram | I_{2-2} | current in No. 2 of the return conductor |
| 8 | return current collector plate | | |

NOTE The ram drive support and the load cell weighing system is not shown in this figure.

Figure AA.3 – Example of a coaxial electroslag remelting furnace circuit

Bibliography

The Bibliography of IEC 60398:2015 is applicable.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	29
3.1 Généralités	29
3.2 Efficacité énergétique	30
3.3 Etats et parties	30
4 Dispositions fondamentales relatives aux essais et conditions d'essai	31
5 Comparaison des installations ou équipements	31
6 Mesures et charges de travail	31
7 Modélisation numérique	32
8 Essais techniques	32
8.100 Mesure de la course efficace du déplacement du vérin de l'électrode	32
8.101 Mesure de la vitesse du déplacement de l'électrode	32
8.102 Mesure du temps nécessaire pour l'échange d'électrodes	32
8.103 Mesure de la tension secondaire à vide de l'installation électrothermique	32
8.104 Mesure des paramètres électriques du circuit secondaire de l'installation électrothermique	33
8.104.1 Généralités	33
8.104.2 Réalisation d'un essai de court-circuit	33
8.104.3 Mesure des paramètres électriques du circuit secondaire dans les conditions normales de fonctionnement	34
8.104.4 Mesure des courants dans les conducteurs de retour coaxiaux	36
8.105 Mesure de la puissance active, de la puissance réactive et du facteur de puissance de l'installation électrothermique	36
8.106 Mesure de la vitesse de fusion de l'électrode ou des électrodes consommables	36
8.107 Mesure des paramètres de vide d'un four de refusion sous laitier électroconducteur sous vide	37
8.107.1 Mesure de la pression de vide limite	37
8.107.2 Mesure de la durée de pompage	37
8.107.3 Mesure de la vitesse d'augmentation de la pression	37
8.107.4 Mesure de la pression de fonctionnement dans la chambre sous vide d'un four	37
8.108 Mesure de la pression dans la chambre d'un four de refusion sous laitier électroconducteur sous pression	37
8.109 Mesure de la composition des gaz pour un four de refusion sous laitier électroconducteur fonctionnant dans une atmosphère de gaz inertes	37
9 Rendement de l'installation	38
Annexe A (informative) Evaluation de l'efficacité énergétique	39
Annexe B (informative) Représentation visuelle des informations d'efficacité énergétique	40
Annexe C (informative) Estimation de l'utilisation d'énergie	41
Annexe D (informative) Récupérabilité énergétique	42
Annexe AA (normative) Schémas explicatifs pour les symboles et définitions relatifs au circuit de puissance d'un équipement de refusion sous laitier électroconducteur	43

AA.1	Circuit de puissance de l'équipement de refusion sous laitier électroconducteur (voir de la Figure AA.1 à la Figure AA.3)	43
Bibliographie	46
Figure AA.1	– Exemple d'un circuit monophasé pour un four de refusion sous laitier électroconducteur	43
Figure AA.2	– Exemple d'un circuit triphasé pour un four de refusion sous laitier électroconducteur	44
Figure AA.3	– Exemple d'un circuit coaxial pour un four de refusion sous laitier électroconducteur	45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTALLATIONS POUR TRAITEMENT ÉLECTROTHERMIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE – MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS DE REFUSION SOUS LAITIER ÉLECTROCONDUCTEUR

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 60779 a été établie par le comité d'études 27 de l'IEC: Chauffage électrique industriel et traitement électromagnétique.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2005. Elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- la structure a été remaniée sur la base de l'IEC 60398:2015;
- le domaine d'application et l'objet ont été reformulés;
- les termes et définitions, les références normatives et la bibliographie ont été mis à jour et complétés;
- l'ensemble des méthodes d'essai et du contenu de l'IEC 60779:2005 qui ont été inclus dans l'IEC 60398:2015 ont été retirés afin d'éviter toute répétition.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
27/1128/FDIS	27/1130/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

La présente norme doit être lue conjointement avec l'IEC 60398:2015. Elle complète ou modifie les articles correspondants de l'IEC 60398:2015. Lorsque le texte indique une "modification", une "addition" ou un "remplacement" de la disposition correspondante de l'IEC 60398:2015, ces modifications sont apportées au texte correspondant de l'IEC 60398:2015. Lorsqu'aucune modification n'est nécessaire, la phrase "L'article de l'IEC 60398:2015 est applicable" est utilisée. Lorsqu'un paragraphe particulier de l'IEC 60398:2015 n'est pas mentionné dans la présente norme, ce paragraphe s'applique pour autant que cela soit raisonnable. Lorsqu'un paragraphe particulier de l'IEC 60398:2015 n'est pas applicable, le terme "Vacant" est utilisé.

Les dispositions spécifiques complémentaires à celles de l'IEC 60398:2015, données en tant qu'articles ou paragraphes individuels, sont numérotées à partir de 101.

NOTE Le système de numérotation suivant est utilisé:

- les paragraphes, tableaux et figures qui s'ajoutent à ceux de l'IEC 60398:2015 sont numérotés à partir de 101;
- à l'exception de celles qui sont dans un nouveau paragraphe ou de celles qui concernent des notes de l'IEC 60398:2015, les notes sont numérotées à partir de 101, y compris celles des articles ou paragraphes qui sont remplacés;
- les annexes qui sont ajoutées sont désignées AA, BB, etc.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INSTALLATIONS POUR TRAITEMENT ÉLECTROTHERMIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE – MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS DE REFUSION SOUS LAITIER ÉLECTROCONDUCTEUR

1 Domaine d'application

L'Article 1 de l'IEC 60398:2015 est remplacé par le texte suivant.

Remplacement:

La présente Norme internationale spécifie les procédures, conditions et méthodes d'essai permettant de déterminer les paramètres de performance principaux et les caractéristiques de fonctionnement principales des fours de refusion sous laitier électroconducteur.

Les mesurages et les essais qui sont utilisés aux seules fins de la vérification des exigences de sécurité des installations ne relèvent pas du domaine d'application du présent document et sont couverts par l'IEC 60519-1 et l'IEC 60519-8.

Le présent document s'applique aux fours industriels de refusion sous laitier électroconducteur dont la capacité assignée est supérieure ou égale à 50 kg.

Le présent document est applicable aux fours industriels de refusion sous laitier électroconducteur qui possèdent une ou plusieurs électrodes et qui sont alimentés par différentes sources d'énergie de fusion, courant alternatif, courant continu ou courant à basse fréquence.

Le présent document inclut le concept et les éléments relatifs à l'efficacité énergétique pour les parties électriques et de traitement des installations, ainsi qu'à la performance globale.

2 Références normatives

L'Article 2 de l'IEC 60398:2015 est applicable avec l'exception suivante.

Remplacement:

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

Modification:

Supprimer les notes de bas de page .

Additions:

IEC 60398:2015, *Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique – Méthodes générales d'essai de fonctionnement*

IEC 60519-8, *Sécurité dans les installations destinées au traitement électrothermique et électromagnétique – Partie 8: Exigences particulières pour fours de refusion sous laitier électroconducteur*

IEC 60676:2011, *Chauffage électrique industriel – Méthodes d'essai des fours à arc direct*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60398:2015 ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1 Généralités

Additions:

3.1.101

installation électrothermique comportant un four de refusion sous laitier électroconducteur

ensemble complet constitué par l'équipement électrothermique et les accessoires électriques et mécaniques nécessaires pour le fonctionnement et l'utilisation d'un four de refusion sous laitier électroconducteur

3.1.102

puissance d'une installation électrothermique

puissance apparente S (en kVA) ou puissance active P (en kW) mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation

3.1.103

facteur de puissance d'une installation électrothermique

$\cos\varphi$

rapport de la puissance active à la puissance apparente mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation

3.1.104

tension en charge d'un four de refusion sous laitier électroconducteur

U_F

tension mesurée entre deux points qui, selon le type de four, sont la plaque de base, la ou les pinces d'électrode amenant le courant électrique de fusion à l'électrode ou aux électrodes consommable(s) ou au(x) prolongateur(s), ou le point de raccordement commun des conducteurs de retour multiples

Note 1 à l'article: Dans le cas d'un four qui ne possède pas deux électrodes correspondant à l'alimentation en courant alternatif monophasée, la tension est mesurée entre la plaque de base et la ou les pinces d'électrode; voir U_F sur la Figure AA.1 et la Figure AA.2.

Note 2 à l'article: Dans le cas d'un four qui possède deux électrodes correspondant à l'alimentation en courant alternatif monophasée, la tension est mesurée entre les deux pinces d'électrode.

Note 3 à l'article: Dans le cas d'un four de conception coaxiale et pour une alimentation monophasée à courant alternatif, la tension est mesurée entre la pince d'électrode et le point de raccordement commun des conducteurs de retour multiples; voir U_F sur la Figure AA.3.

3.1.105

fréquence assignée du four

f_n

valeur qui correspond à l'intensité assignée du four, si le four est construit pour une plage de fréquences

Note 1 à l'article: La fréquence assignée du four est exprimée en Hz.

3.1.106

courant assigné du four

I_n

courant maximal pour le fonctionnement continu pour lequel le four est conçu

3.1.107

valeurs assignées d'un four de refusion sous laitier électroconducteur

valeurs assignées, incluant l'intensité assignée du four I_n , la puissance assignée du four P_n et la fréquence assignée du four f_n , pour lesquelles le four est conçu

3.1.108

vitesse de fusion de l'électrode consommable

V_m

quantité d'électrode(s) consommable(s) refondue(s) mesurée en kilogrammes par unité de temps

Note 1 à l'article: La vitesse de fusion de l'électrode consommable est exprimée en kg/min.

3.2 Efficacité énergétique

Addition:

3.2.101

consommation d'énergie massique

e

rapport de la quantité totale d'énergie électrique mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation qui est consommée par une installation électrothermique pour la fusion de la charge dans les conditions de fonctionnement normal ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur sur le poids du lingot produit

Note 1 à l'article: La consommation d'énergie massique est exprimée en kWh/kg.

3.3 Etats et parties

Additions:

3.3.101

fonctionnement continu d'un four

fonctionnement pendant lequel le lingot solide est produit et solidifié et l'électrode consommable est progressivement refondue en continu

3.3.102

régime permanent d'un four de refusion sous laitier électroconducteur

état d'un four tel qu'en fonctionnement continu les paramètres électriques et thermiques ont atteint des valeurs relativement constantes

3.3.103

lingotière d'un four de refusion sous laitier électroconducteur

creuset en matériau non consommable et refroidi par eau qui donne sa forme au lingot fabriqué par le procédé de refusion sous laitier électroconducteur et qui contient le laitier fondu

3.3.104

électrode consommable

pièce(s) solide(s) en contact avec le laitier fondu qui conduit le courant électrique nécessaire au processus de fusion et constituée(s) par le matériau nécessaire à la formation du lingot

3.3.105**plaque de base refroidie par eau d'un four de refusion sous laitier électroconducteur**

plaque refroidie par eau installée au fond de la lingotière pour contenir le métal liquide et le laitier au début de la fusion dans tous les cas et qui est connectée au(x) câble(s) ou au(x) jeu(x) de barres pour garantir que le courant traverse le circuit électrique secondaire lorsque le four fonctionne avec une seule électrode consommable

3.3.106**commutateur haute tension du four**

commutateur haute tension destiné à mettre sous et hors tension, sous charge, le transformateur du four conformément aux exigences de fonctionnement

3.3.107**transformateur de four de refusion sous laitier électroconducteur**

transformateur qui alimente un four de refusion sous laitier électroconducteur

3.3.108**circuit électrique secondaire d'un four de refusion sous laitier électroconducteur**

circuit électrique qui se referme sur la source d'énergie de fusion et qui peut comprendre

- a) les bornes de sortie de la source d'énergie de fusion;
- b) le dispositif d'alimentation en courant à haute intensité (jeux de barres et/ou câbles);
- c) les commutateurs de barres, s'ils sont nécessaires;
- d) la pince d'électrode;
- e) le prolongateur d'électrode;
- f) l'électrode ou les électrodes consommables (suivant le mode de connexion);
- g) le laitier fondu conducteur (sauf dans le cas d'essais en court-circuit);
- h) le lingot refondu (sauf dans le cas d'un four possédant plus de deux électrodes);
- i) la plaque de base (suivant le mode de connexion)

3.3.109**pince d'électrode**

équipement métallique et refroidi par eau destiné à maintenir une électrode et à l'alimenter en courant

3.3.110**configuration coaxiale du four de refusion sous laitier électroconducteur**

configuration telle que plus de deux conducteurs de retour sont régulièrement répartis autour du creuset du four de refusion sous laitier électroconducteur

4 Dispositions fondamentales relatives aux essais et conditions d'essai

L'Article 4 de l'IEC 60398:2015 est applicable.

5 Comparaison des installations ou équipements

L'Article 5 de l'IEC 60398:2015 est applicable.

6 Mesures et charges de travail

L'Article 6 de l'IEC 60398:2015 est applicable avec l'exception suivante.

6.4.3 Emplacements de mesure

Addition:

Pour les emplacements de mesure de tous les paramètres électriques du circuit de puissance de l'équipement de refusion sous laitier électroconducteur, voir Figure AA.1 à Figure AA.3; ils se trouvent aux bornes de sortie de l'interrupteur-sectionneur pour la mesure de la consommation électrique du circuit de puissance et aux bornes de sortie de la baie de distribution électrique disponible pour les autres accessoires électriques et mécaniques (voir 4.3 de l'IEC 60398:2015).

7 Modélisation numérique

L'Article 7 de l'IEC 60398:2015 est applicable.

8 Essais techniques

L'Article 8 de l'IEC 60398:2015 est applicable avec l'exception suivante.

Additions:

8.100 Mesure de la course efficace du déplacement du vérin de l'électrode

La course efficace du déplacement du vérin de l'électrode est la distance qui sépare la position supérieure limitée de la position inférieure limitée du vérin de l'électrode, à l'endroit où le déplacement s'arrête.

Ce mesurage doit être effectué avec une règle, le four étant alors hors tension.

8.101 Mesure de la vitesse du déplacement de l'électrode

Ce mesurage doit être effectué avec une commande manuelle du système de déplacement de l'électrode dans deux directions sous réserve que le four soit équipé d'une électrode ou d'électrodes d'un poids et d'une longueur correspondant aux valeurs les plus élevées admises par le concepteur.

NOTE Le mesurage peut être réalisé à l'aide d'une autre méthode, par exemple en utilisant une commande par signal électrique.

Le mesurage de la vitesse du déplacement doit être réalisé avec un chronomètre (ou un dispositif de commande électronique avec décompte du temps) en notant la distance couverte par le bras de l'électrode par rapport à son support fixe.

8.102 Mesure du temps nécessaire pour l'échange d'électrodes

Cet essai est destiné à vérifier que le temps nécessaire pour l'échange d'électrodes satisfait aux exigences ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur lorsque le four est équipé de deux jeux de systèmes d'entraînement de l'alimentation de l'électrode.

Le temps qui doit être mesuré avec un chronomètre est le temps écoulé entre le moment où le courant secondaire devient nul après la fusion de la première électrode et son retrait du laitier fondu et le moment où l'électrode suivante est plongée dans le laitier et où le courant secondaire s'écoule dans le circuit.

8.103 Mesure de la tension secondaire à vide de l'installation électrothermique

Cet essai doit être réalisé aux bornes de sortie de la source d'énergie de fusion (voir point 6 sur la Figure AA.1).

Si l'installation comporte un système de réglage, les tensions secondaires maximales et minimales à vide doivent être mesurées.

8.104 Mesure des paramètres électriques du circuit secondaire de l'installation électrothermique

8.104.1 Généralités

Cet essai est destiné à vérifier si les caractéristiques du circuit secondaire du four satisfont aux exigences établies par accord entre le fabricant et l'utilisateur.

8.104.2 Réalisation d'un essai de court-circuit

Cet essai, qui n'est pas applicable aux fours de refusion sous laitier électroconducteur à courant continu, doit être réalisé dans les conditions suivantes. Le four doit être équipé d'une ou de plusieurs électrodes ayant les valeurs de longueur et de poids maximales admises par le concepteur. Les propriétés électriques et magnétiques du matériau de l'électrode doivent être définies au préalable. L'électrode ou les électrodes doivent être mises en contact électrique avec la plaque de base. Un exemple de circuit d'essai est représenté à la Figure AA.1. Une autre méthode alternative appropriée peut être utilisée après accord entre le fabricant et l'utilisateur.

La tension d'alimentation doit être réglée à sa valeur minimale.

La tension doit être progressivement augmentée jusqu'à ce que l'intensité assignée du four soit atteinte.

Ces essais sont réalisés au moins deux fois. Pour chaque essai, les paramètres électriques suivants doivent être mesurés ou calculés.

- a) Puissance active P_2 du côté secondaire du transformateur du four – mesurée avec des wattmètres.

Si, dans certains cas, il est difficile de mesurer P_2 , la puissance active P_1 doit être mesurée du côté primaire du transformateur de four avec des wattmètres, puis P_2 doit être calculée comme suit:

$$P_2 = P_1 - P_{CuT} \quad (1)$$

- b) I_2 et U_2 du côté secondaire du transformateur du four – mesurées avec des ampèremètres et des voltmètres, respectivement.

- c) Calcul des valeurs secondaires suivantes:

$$S_2 = I_2 U_2 \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{P_2}{I_2^2} \quad (3)$$

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad (4)$$

$$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} \quad (5)$$

$$\cos\phi_2 = \frac{P_2}{S_2} \quad (6)$$

où

- P_1 est la puissance active mesurée au cours de l'essai du côté primaire par un wattmètre;
- P_2 est la puissance active mesurée au cours de l'essai du côté secondaire par un wattmètre ou calculée;
- P_{CuT} est la perte de charge du transformateur pour la prise sur laquelle l'essai a été réalisé (la valeur est extraite de la spécification du fabricant);
- S_2 est la puissance apparente mesurée au cours de l'essai du côté secondaire du transformateur;
- I_2 est le courant secondaire assigné du transformateur lorsque l'essai a été réalisé;
- U_2 est la tension secondaire du transformateur lorsque le courant secondaire assigné du transformateur est obtenu;
- R_2 est la résistance du circuit secondaire;
- X_2 est la réactance du circuit secondaire;
- Z_2 est l'impédance du circuit secondaire;
- $\cos\phi_2$ est le facteur de puissance du circuit secondaire.

Dans le cas d'un four alimenté en courant alternatif triphasé correspondant aux trois électrodes consommables, il convient que la méthode d'essai se réfère au 6.4 de l'IEC 60676:2011. Les conditions d'essai sont identiques à celles décrites en 6.4 de l'IEC 60676:2011.

8.104.3 Mesure des paramètres électriques du circuit secondaire dans les conditions normales de fonctionnement

Si l'essai de court-circuit présente quelques difficultés et provoque des dommages à la plaque de base, le fabricant et l'utilisateur peuvent décider d'un commun accord que cet essai doit être remplacé par des essais permettant de prouver que, dans les conditions normales de fonctionnement du four, les paramètres électriques du circuit secondaire restent dans la plage spécifiée par le fabricant.

Le mesurage doit être effectué lorsque le four fonctionne en continu après avoir atteint son régime permanent en fonctionnant à son intensité assignée (I_n).

a) Dans le cas d'un four équipé d'une alimentation monophasée à courant alternatif

Ces essais sont réalisés au moins deux fois. Pour chaque essai, les paramètres électriques suivants doivent être mesurés ou calculés.

1) Puissance active P_2 du côté secondaire du transformateur du four – mesurée avec des wattmètres.

Si, dans certains cas, il est difficile de mesurer P_2 , la puissance active P_1 doit être mesurée du côté primaire du transformateur de four avec des wattmètres, puis calculée comme suit:

$$P_2 = P_1 - P_{CuT} \quad (7)$$

2) Courant I_2 du côté secondaire du transformateur du four – mesuré avec des ampèremètres, et tensions U_2 et U_F mesurées avec des voltmètres.

3) Les valeurs secondaires suivantes sont ensuite calculées:

$$S_2 = I_2 U_2 \quad (8)$$

$$\cos \phi_2 = \frac{P_2}{S_2} \quad (9)$$

où

U_F est la tension en charge d'un four de refusion sous laitier électroconducteur.

- b) Dans le cas d'un four équipé d'une alimentation triphasée à courant alternatif

Un exemple de circuit d'essai est représenté à la Figure AA.2. Ces essais sont réalisés au moins deux fois. Pour chaque essai, les paramètres électriques suivants doivent être mesurés ou calculés.

- 1) Puissances actives P_{2A} , P_{2B} et P_{2C} du côté secondaire du transformateur du four mesurées avec des wattmètres.

Si, dans certains cas, il est difficile de mesurer P_{2A} , P_{2B} et P_{2C} , les puissances actives P_{1A} , P_{1B} et P_{1C} doivent être mesurées du côté primaire du transformateur de four avec des wattmètres, puis P_{2A} , P_{2B} et P_{2C} doivent être calculées comme suit:

$$P_{2A} = P_{1A} - 1/3 P_{CuT} \quad P_{2B} = P_{1B} - 1/3 P_{CuT} \quad P_{2C} = P_{1C} - 1/3 P_{CuT} \quad (10)$$

- 2) Courants I_{2A} , I_{2B} et I_{2C} du côté secondaire du transformateur du four mesurés avec des ampèremètres, et tensions U_{2A} , U_{2B} , U_{2C} , U_{FA} , U_{FB} et U_{FC} mesurées avec des voltmètres.

- 3) Les valeurs secondaires suivantes sont ensuite calculées:

$$S_{2\mu} = U_{2\mu} \cdot I_{2\mu} \quad (11)$$

$$Q_{2\mu} = \sqrt{S_{2\mu}^2 - P_{2\mu}^2} \quad (12)$$

$$S_{2\Sigma}^2 = \sum_{\mu=1}^3 P_{2\mu}^2 + \sum_{\mu=1}^3 Q_{2\mu}^2 \quad (13)$$

$$P_2 = P_{2A} + P_{2B} + P_{2C} \quad (14)$$

$$\cos \phi_2 = \frac{P_2}{S_{2\Sigma}} \quad (15)$$

où

P_{1A} , P_{1B} et P_{1C} sont les puissances de phase mesurées du côté primaire par des wattmètres;

P_{2A} , P_{2B} et P_{2C} sont les puissances de phase mesurées du côté secondaire par des wattmètres ou calculées;

P_{CuT} est la perte de charge du transformateur triphasé pour la prise sur laquelle l'essai a été réalisé (la valeur est extraite de la spécification du fabricant);

μ sont les phases A, B et C, respectivement;

$I_{2\mu}$	est le courant assigné de chaque phase ($\mu = A, B, C$) mesuré du côté secondaire par un ampèremètre;
$U_{2\mu}$	sont les tensions de phase de chaque phase ($\mu = A, B, C$) mesurées du côté secondaire par un voltmètre;
$P_{2\mu}$	est la puissance active power de chaque phase ($\mu = A, B, C$) du côté secondaire;
$Q_{2\mu}$	est la puissance réactive de chaque phase ($\mu = A, B, C$) du côté secondaire;
$S_{2\mu}$	est la puissance apparente de chaque phase ($\mu = A, B, C$) du côté secondaire;
$P_{2\Sigma}$, $Q_{2\Sigma}$ et $S_{2\Sigma}$	sont la puissance active totale, la puissance réactive totale et la puissance apparente totale du côté secondaire, respectivement;
U_{FA} , U_{FB} et U_{FC}	sont les tensions de phase en charge d'un four de refusion sous laitier électroconducteur.

8.104.4 Mesure des courants dans les conducteurs de retour coaxiaux

Dans le cas d'un four de refusion sous laitier électroconducteur de conception coaxiale et pour une alimentation monophasée à courant alternatif, le courant secondaire doit être mesuré en mesurant séparément le courant dans chaque conducteur de retour, respectivement, et en additionnant les courants mesurés pour en déduire le courant total, tandis que la coaxialité est déterminée par déduction de la différence de courant, comme représenté à la Figure AA.3.

8.105 Mesure de la puissance active, de la puissance réactive et du facteur de puissance de l'installation électrothermique

Cet essai comprend le mesurage, aux bornes d'entrée de l'alimentation (voir point 4 sur la Figure AA.1), de la puissance d'une installation électrothermique (définie en 3.1.102) et du facteur de puissance d'une installation électrothermique (définie en 3.1.103).

Le mesurage de la puissance active est réalisé au moyen d'un wattmètre (au moins de classe 1.5). Le mesurage de la puissance réactive est réalisé au moyen d'un varmètre (au moins de classe 1.5).

NOTE Si un varmètre adapté n'est pas disponible, la puissance réactive peut être calculée à partir des valeurs mesurées de courant et de tension.

Le mesurage doit être réalisé lorsque le four fonctionne en continu après avoir atteint son régime permanent.

Le facteur de puissance est calculé à partir de la puissance active et de la puissance réactive mesurées comme indiqué ci-dessus ou, lorsque le mesurage de la puissance réactive n'a pas été réalisé, à partir de la valeur de puissance active et de la valeur de puissance apparente calculée à partir des valeurs mesurées de tension et de courant.

Il convient d'accorder une attention particulière au fait que la présence d'harmoniques peut affecter les résultats des mesurages.

8.106 Mesure de la vitesse de fusion de l'électrode ou des électrodes consommables

Le mesurage doit être réalisé avec les cellules de charge au cours du fonctionnement continu du four si celui-ci est équipé d'un système de cellule de charge. Les conditions et la procédure d'essai doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

Pour un four sans système de cellule de charge, ce mesurage peut être remplacé par des essais permettant de prouver que, dans les conditions normales de fonctionnement du four, la vitesse de fusion de l'électrode ou des électrodes consommables reste dans la plage spécifiée par le fabricant.

8.107 Mesure des paramètres de vide d'un four de refusion sous laitier électroconducteur sous vide

8.107.1 Mesure de la pression de vide limite

L'essai est réalisé à l'état froid, les appareillages sous vide étant installés dans le système sous vide d'un four. Les pompes à vide sont mises sous tension jusqu'à ce que la pression à l'intérieur du four atteigne une valeur minimale. Il convient que la pression sous vide reste dans la plage spécifiée par le fabricant.

8.107.2 Mesure de la durée de pompage

La durée de pompage est la période pendant laquelle la pression sous vide passe de la valeur de la pression atmosphérique à la valeur limite après la mise sous tension des pompes à vide au cours de l'essai ci-dessus (voir 8.107.1).

8.107.3 Mesure de la vitesse d'augmentation de la pression

L'essai doit être réalisé après la fermeture de toutes les soupapes de dépression dans la chambre sous vide et après la mise hors tension des pompes à l'issue de l'essai ci-dessus (voir 8.107.1). La vitesse d'augmentation de la pression peut être calculée comme suit:

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{\Delta t} \quad (16)$$

où

Δp est la vitesse d'augmentation de la pression (Pa/h);

p_1 est la pression enregistrée en premier lieu dans la chambre sous vide (Pa);

p_2 est la pression enregistrée dans un deuxième temps dans la chambre sous vide (Pa);

Δt est la durée séparant deux instants d'enregistrement (h).

8.107.4 Mesure de la pression de fonctionnement dans la chambre sous vide d'un four

L'essai doit être réalisé lorsque le four est à l'état chaud au cours de la période de production. Le matériau refondu et le processus de fusion doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

L'essai est réalisé avec les appareillages sous vide installés dans le système sous vide du four.

8.108 Mesure de la pression dans la chambre d'un four de refusion sous laitier électroconducteur sous pression

Le mesurage doit être réalisé lorsque le four fonctionne en continu après avoir atteint son régime permanent.

L'essai est réalisé au moyen d'un manomètre (au moins de classe 1.5) installé dans le système sous pression du four.

8.109 Mesure de la composition des gaz pour un four de refusion sous laitier électroconducteur fonctionnant dans une atmosphère de gaz inertes

Le mesurage doit être réalisé lorsque le four fonctionne en continu après avoir atteint son régime permanent.

L'échantillon de gaz est prélevé au niveau d'une sortie de la chambre à gaz de protection et analysé au moyen d'un spectromètre de masse ou par toute autre méthode ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

9 Rendement de l'installation

L'Article 9 de l'IEC 60398:2015 est applicable.

Annexe A
(informative)

Evaluation de l'efficacité énergétique

L'Annexe A de l'IEC 60398:2015 est applicable.

Annexe B
(informative)

Représentation visuelle des informations d'efficacité énergétique

L'Annexe B de l'IEC 60398:2015 est applicable.

Annexe C
(informative)

Estimation de l'utilisation d'énergie

L'Annexe C de l'IEC 60398:2015 est applicable.

Annexe D
(informative)

Récupérabilité énergétique

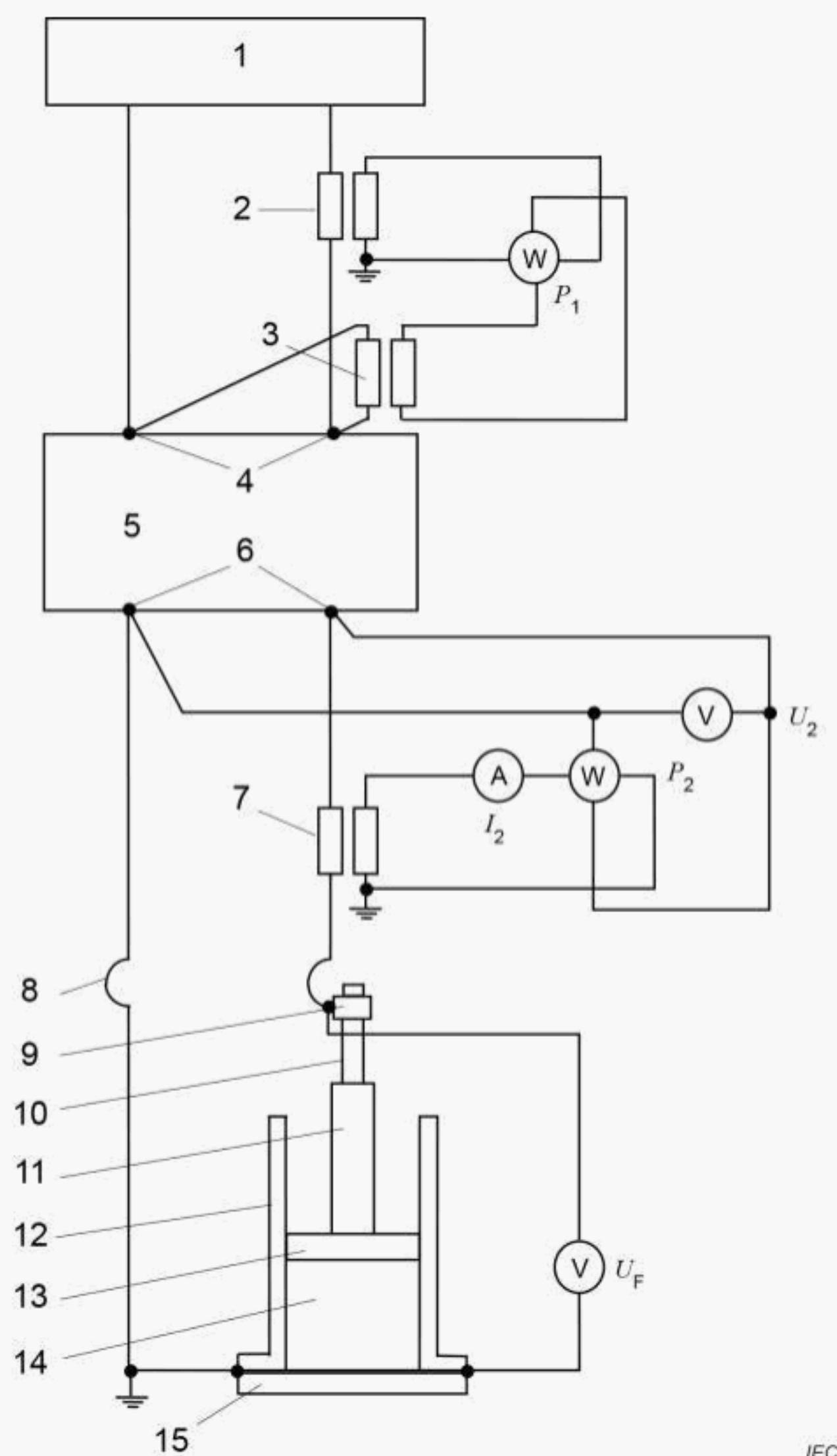
L'Annexe D de l'IEC 60398:2015 est applicable.

Annexe AA

(normative)

Schémas explicatifs pour les symboles et définitions relatifs au circuit de puissance d'un équipement de refusion sous laitier électroconducteur

AA.1 Circuit de puissance de l'équipement de refusion sous laitier électroconducteur (voir de la Figure AA.1 à la Figure AA.3)

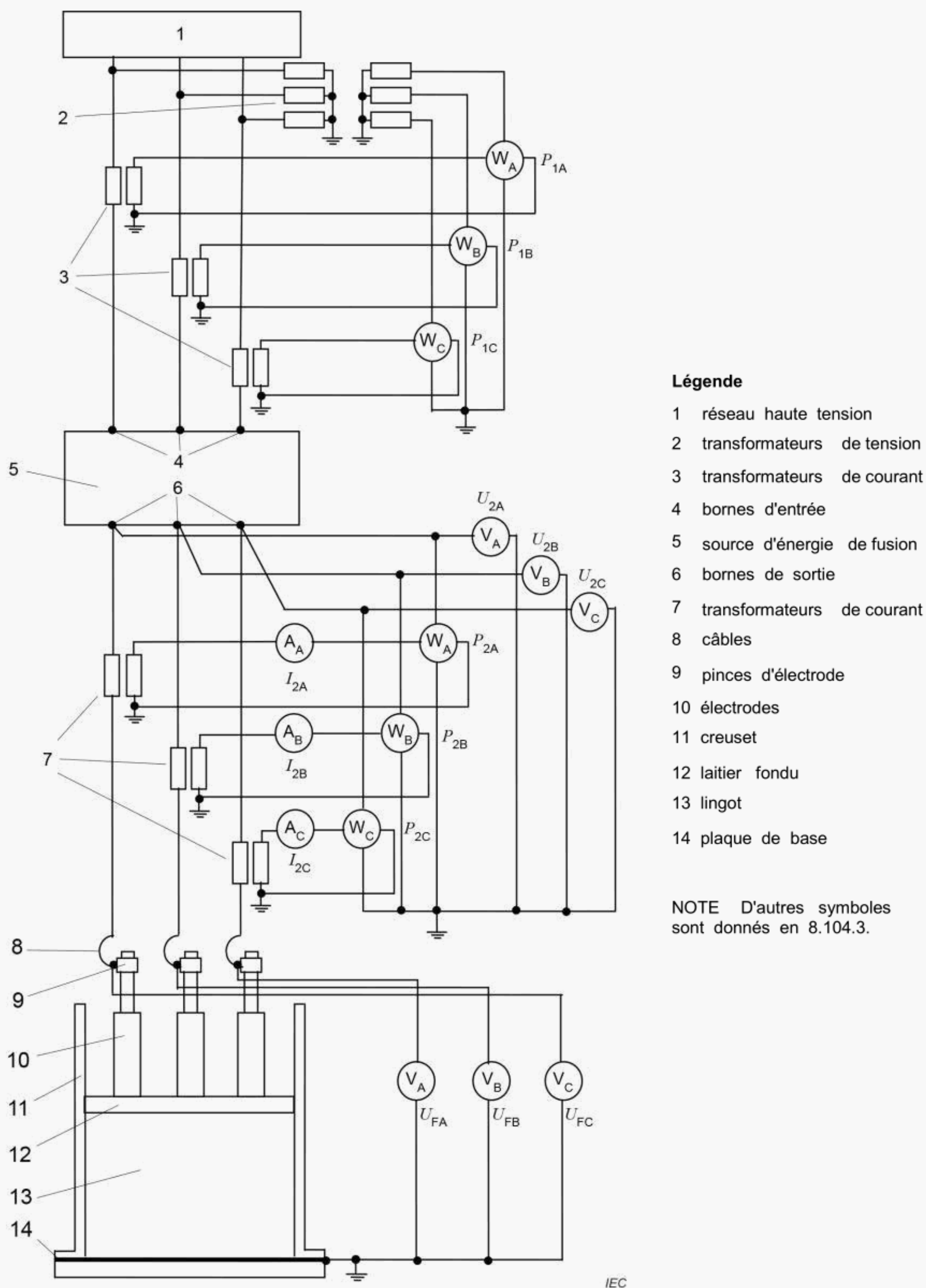


Légende

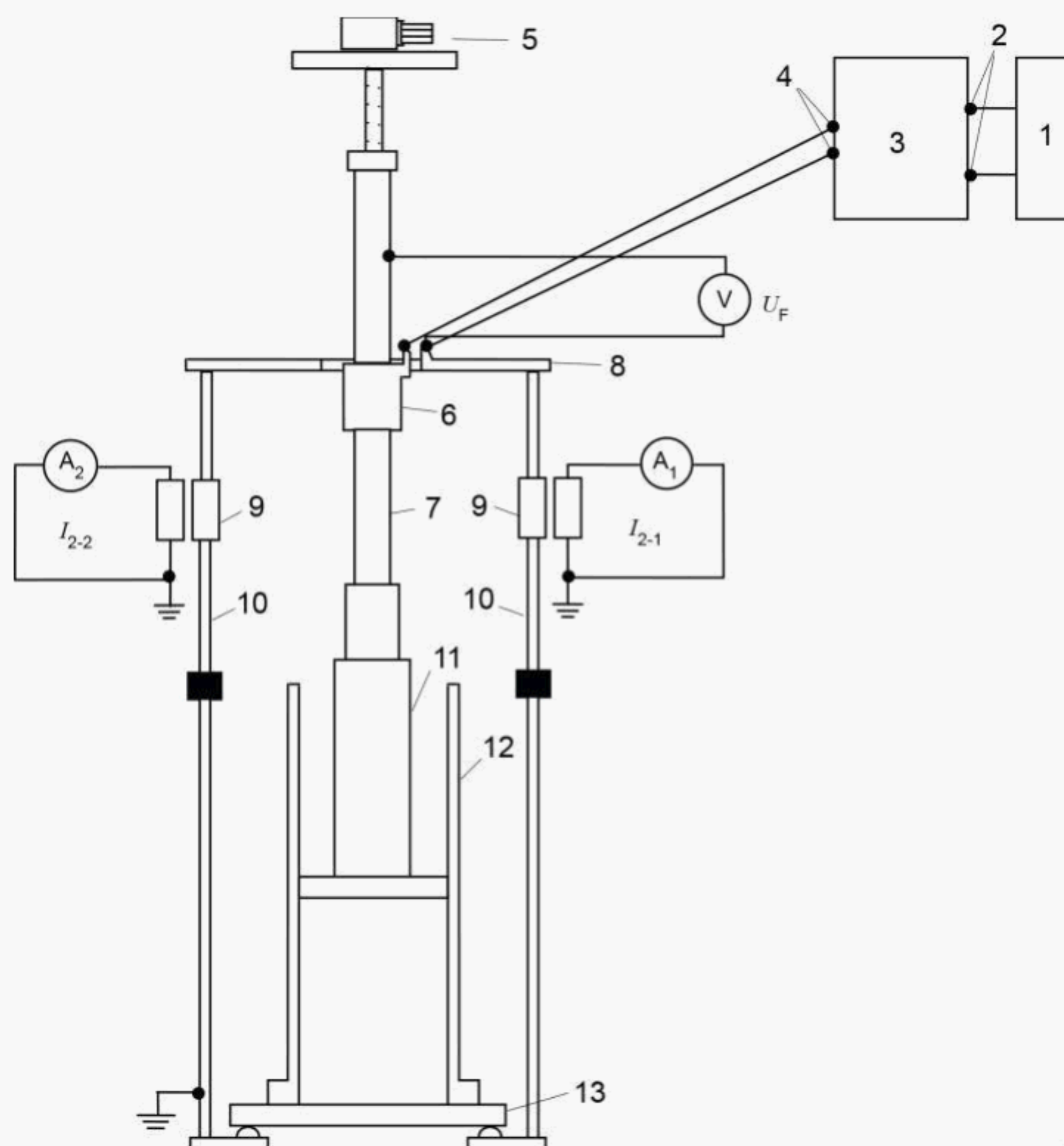
1	réseau haute tension	9	pince d'électrode
2	transformateur de courant	10	prolongateur
3	transformateur de tension	11	électrode
4	bornes d'entrée en courant alternatif	12	creuset
5	source d'énergie de fusion	13	laitier fondu
6	bornes de sortie	14	lingot
7	transformateur de courant	15	plaque de base refroidie à l'eau
8	câbles		

NOTE D'autres symboles sont donnés en 8.104.2.

Figure AA.1 – Exemple d'un circuit monophasé pour un four de refusion sous laitier électroconducteur



**Figure AA.2 – Exemple d'un circuit triphasé
pour un four de refusion sous laitier électroconducteur**



IEC

Légende

- | | | | |
|---|---|-----------|---|
| 1 | réseau haute tension | 9 | transformateur de courant (2 sur 4 sont visibles) |
| 2 | bornes d'entrée en courant alternatif | 10 | conducteur de retour (2 sur 4 sont visibles) |
| 3 | source d'énergie de fusion monophasée | 11 | électrode |
| 4 | bornes de sortie | 12 | creuset |
| 5 | entraînement du vérin | 13 | plaque de base refroidie à l'eau |
| 6 | contact glissant | I_{2-1} | courant dans le conducteur de retour n° 1 |
| 7 | vérin | I_{2-2} | courant dans le conducteur de retour n° 2 |
| 8 | plaque collectrice de courant de retour | | |

NOTE Le système de support d'entraînement du vérin et de pesée de la cellule de charge n'est pas représenté sur cette figure.

Figure AA.3 – Exemple d'un circuit coaxial pour un four de refusion sous laitier électroconducteur

Bibliographie

La bibliographie de l'IEC 60398:2015 est applicable.
