

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Installations for electroheating and electromagnetic processing – Test methods
for induction through-heating installations**

**Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique – Méthodes
d'essai pour les installations de chauffage par induction**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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 Varembe
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Installations for electroheating and electromagnetic processing – Test methods
for induction through-heating installations**

**Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique – Méthodes
d'essai pour les installations de chauffage par induction**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.180.10

ISBN 978-2-8322-7583-2

**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.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Basic provisions for testing and test conditions.....	11
5 Comparing equipment or installations	13
6 Measurements and workloads	13
7 Numerical modelling	14
8 List of tests.....	14
9 Technical tests and efficiency of the installation	15
Annex A (informative) Energy efficiency assessment	19
Annex B (informative) Visual display of energy efficiency related information.....	20
Annex C (informative) Estimating energy use.....	21
Annex D (informative) Energy recoverability	22
Annex AA (normative) Explanatory diagrams for symbols and definitions relating to the power circuit of induction through-heating equipment.....	23
Annex BB (informative) List of symbols used in this document.....	27
Annex CC (normative) Determination of billet temperature homogeneity $\Delta\theta_b$	29
Annex DD (informative) Methods for safety tests.....	34
Bibliography.....	35
Figure AA.1 – Basic power circuit of the induction through-heating equipment.....	23
Figure AA.2 – Power circuit of the induction through-heating equipment having one rectifier transformer as well as several semiconductor frequency converters and compensated circuits/loads.....	24
Figure AA.3 – Power circuit of the induction through-heating equipment having one rectifier transformer, one rectifier as well as several series type inverters and compensated circuits/loads.....	25
Figure AA.4 – Examples of compensated circuits.....	26
Table CC.1 – Arrangement of temperature measuring points of the billets	31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INSTALLATIONS FOR ELECTROHEATING AND ELECTROMAGNETIC
PROCESSING – TEST METHODS FOR INDUCTION
THROUGH-HEATING INSTALLATIONS****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 63078 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating and electromagnetic processing.

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

FDIS	Report on voting
27/1118/FDIS	27/1119/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 International Standard is to be used in conjunction with IEC 60398:2015.

The clauses of this document supplement, modify or replace clauses of IEC 60398. When this document states “addition”, “modification” or “replacement”, the relevant text in IEC 60398 is to be adapted accordingly.

Subclauses which are additional to those in IEC 60398 are numbered starting from 101. Additional annexes are numbered AA, BB, etc.

The committee has decided that the contents of this document 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 document. At this date, the document will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

INTRODUCTION

Induction through-heating and induction melting are very important applications of induction heating. However, an induction through-heating installation is more complex than an induction melting furnace, as it includes more heating manners, varieties and sizes. In addition, some performance tests which are very useful to users, for example the determination of temperature homogeneity of billets and energy efficiency of the installation, are not easy to carry out.

Induction through-heating installations are widely used in many industries for example machine building and metallurgy, for heating billets or workpieces of alloy steel, copper, aluminum, etc. before their subsequent hot forming (e.g. forging, extruding and rolling), with clean and fast heating, easy temperature control and automation as well as a high degree of energy-saving.

This document was prepared on the basis of IEC 60398:2015, with some references made to IEC 62076:2006 and “Induction Heating – Industrial Applications” published by UIE in 1992.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

INSTALLATIONS FOR ELECTROHEATING AND ELECTROMAGNETIC PROCESSING – TEST METHODS FOR INDUCTION THROUGH-HEATING INSTALLATIONS

1 Scope

This clause of IEC 60398:2015 is replaced by the following.

This document specifies the test procedures, conditions and methods for determining the main performance parameters and operational characteristics of induction through-heating installations.

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 60519-3.

This document is applicable to the induction heating installations which through-heat the whole or part of metal billet or workpiece for its subsequent hot forming (e.g. forging, extruding and rolling), using low, mains or medium frequencies. It is possible to use it as a reference for other induction heating installations for heat treatment and other purposes as well as superconducting DC induction through-heating installations.

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

This clause of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

Replacement:

The following standards are referred to in the text in such a way that some or all of their contents constitutes requirements of this standard. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced standard (including any amendments) applies.

Modification:

Delete footnotes

Additions:

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

IEC 60519-1:—1, *Safety in installations for electroheating and electromagnetic processing – Part 1: General requirements*

¹ Sixth edition under preparation. Stage at the time of publication: IEC PRVC 60519-1:2019.

IEC 60519-3:2005, *Safety in electroheat installations – Part 3: Particular requirements for induction and conduction heating and induction melting installations*

3 Terms and definitions

This clause of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

Replacement:

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

Additions:

NOTE 101 For the following definitions of terms related to some parts and electrical parameters of power circuit of induction through-heating equipment, see also the explanatory diagrams in Annex AA. The symbols are also listed in Annex BB.

3.101

induction through-heating installation

installation comprising induction through-heating equipment and the electrical and mechanical auxiliaries necessary for the operation and utilization of the equipment

Note 1 to entry: The electrical auxiliaries comprise all electrical components in the power circuit of induction through-heating equipment, power supply for mechanical auxiliaries and control system; and the mechanical auxiliaries comprise billet handling mechanism and its mechanical power as well as water cooling system, etc.

3.102

induction through-heating equipment

equipment consisting of one or more heating inductors, supporting frames (cabinets) and the connections for cooling water and electricity, etc., for induction heating and holding of billet

3.103

batch heating

repetitive static heating manner, which involves placing an individual billet into a heating inductor for heating and holding, and then extracting it

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.39, modified – The differences between induction through-heating and induction melting in workload name and technological process have been considered.]

3.104

stage heating

heating manner having two or more heating inductors, in which, for a two heating inductor equipment for example, the billet is firstly placed into a heating inductor for heating, secondly moved to another heating inductor for holding and then extracted

3.105

continuous heating

heating manner, in which the billets progress continuously or rhythmically through one or more heating inductors for heating and holding

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.40, modified – The differences between induction through-heating and induction melting in workload name and technological process have been considered.]

3.106

lining

<heating inductor> part of inductor, which is placed between the induction coil and heated billet as a thermal insulation, and usually consists of a refractory layer and a temperature holding layer or is directly formed by ramming or pouring refractory materials

3.107

power circuit of induction through-heating equipment

circuit consisting of the power source(s) and compensated circuit(s) of the induction through-heating equipment, including the conductors connecting both

3.108

power source

equipment for the supply of power to the compensated circuit of induction through-heating equipment, being mains frequency single phase or three phases power supply or semiconductor frequency converter and having the following main specified characteristics:

- frequency f_2 or frequency band $f_{21} \dots f_{22}$
- voltage U_2 (RMS value)
- current I_2 (RMS value)
- active power P_2

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.13, modified – The types of power source used have been specified and supplemented, see Annex AA.]

3.109

compensated circuit of induction through-heating equipment

electric circuit comprising one or more inductors, a compensating capacitor bank and a load-matching transformer (if applicable)

Note 1 to entry: See Annex AA.

3.110

mass of test billets

G_{test}

out of the through-heated billets, total mass of those qualified used for the determination of specific energy consumption and productivity

3.111

dimensions of billet

maximum dimensions of the overall billets with any transport or protection means, which the induction through-heating equipment is designed for and is marked on the rating plate, expressed in diameter × length or width × thickness × length

3.112

billet temperature

θ_b

temperature of the billet at a given time of the through-heating cycle

3.113

starting temperature of billet

θ_{bs}

temperature of the billet at the beginning of the through-heating cycle

3.114**final temperature of billet** θ_{bf}

temperature of the billet attained at the end of the holding period of the through-heating cycle

3.115**rated temperature of billet** θ_{br}

temperature to be requested by through-heating technology for the billet of a given material, which the induction through-heating equipment is designed for and which is marked on the rating plate

3.116**temperature homogeneity of billet** $\Delta\theta_b$

homogeneous degree of billet temperature when it is extracted after heating and holding, which is expressed as the maximum and minimum deviations of the temperatures measured at the temperature measuring points with the rated temperature of the billet (they may be positive or negative), or expressed as the transverse (radial) temperature difference and the longitudinal temperature difference of the billet for the long billets with a circular or rectangular, etc. uniform cross section

Note 1 to entry: Requirements and measuring conditions for the determination of billet temperature homogeneity are specified in Annex CC.

3.117**transverse temperature difference of billet****radial temperature difference of billet** $\Delta\theta_{bt(r)}$

maximum and minimum temperature differences which may be positive or negative, between periphery and centre on the cross section of a long billet with a uniform cross section when it is extracted after its heating and holding

Note 1 to entry: Usually, the temperature at the centre of a billet cross section is lower.

Note 2 to entry: The radial temperature difference $\Delta\theta_{br}$ applies for a billet with a circular cross section.

3.118**longitudinal temperature difference of billet** $\Delta\theta_{bl}$

difference between the maximum temperature and the minimum temperature along the longitudinal direction of a long billet with a uniform cross section when it is extracted after its heating and holding

Note 1 to entry: Usually, the temperature at two ends of a billet is lower.

3.119**inlet temperature of cooling water** θ_{wi}

temperature of the cooling water when entering the cooling water circuit of the heating inductor

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.33, modified – The term and its symbol have been changed, the words “coolant” and “inductor assembly” have been replaced by “cooling water” and “heating inductor”.]

3.120**outlet temperature of cooling water** θ_{wo}

temperature of the cooling water when leaving the cooling water circuit of the heating inductor, with the induction through-heating equipment operating at rated conditions

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.34, modified – The term and its symbol have been changed, the words “coolant”, “inductor assembly” and “furnace” have been replaced respectively by “cooling water”, “heating inductor” and “induction through-heating equipment”.]

3.121

equipment duty at rated conditions

rated equipment duty

induction through-heating equipment operation with specified dimensions of lining and billet, specified billet quantity, rated power and rated frequency range without exceeding the maximum voltage and current defined by the supplier

3.122

thermal steady state

<equipment> thermal state in which the whole energy input into the induction through-heating equipment is used for the compensation of its thermal losses

Note 1 to entry: In thermal steady state, the temperatures of all constructional components of induction through-heating equipment and all the outlet temperatures of the cooling water are relatively stable and do not rise.

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.36, modified – The “furnace” has been replaced by “induction through-heating equipment” and the note added.]

3.123

hot state

<equipment> thermal steady state of the induction through-heating equipment when the billet is at its final temperature

[SOURCE: IEC 60683:2011, 3.13, modified – The definition suitable for induction through-heating equipment has been given with the ambiguous term “thermal condition” replaced by “thermal steady state” and “furnace” by “induction through-heating equipment”.]

3.124

cold state

<equipment> thermal state in which the induction through-heating equipment is not energized and the temperature of the whole equipment is at ambient temperature

[SOURCE: IEC 60683:2011, 3.4, modified – The definition suitable for induction through-heating equipment has been given.]

3.125

holding power

P_h

<equipment> active power supplied to the power circuit of induction through-heating equipment, in order to maintain the specified billet at a specified temperature for its temperature homogeneity

[SOURCE: IEC 60398:2015, 3.3.2, modified – The original definition including its two notes, has been simplified according to induction through-heating equipment.]

3.126

electrical energy consumption of the equipment

electrical energy supplied to the power circuit of induction through-heating equipment during the defined time period

Note 1 to entry: E_{ae} is the active electrical energy consumption.

Note 2 to entry: E_{re} is the reactive electrical energy consumption.

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.42, modified – The words “energy consumption” and “furnace” have been changed to “electrical energy consumption” and “induction through-heating equipment”, and “during the defined time period” and the notes have been added.]

3.127

electrical energy consumption of the installation **active electrical energy consumption**

E_{ai}

electrical energy supplied to the induction through-heating installation during the defined time period, including the active electrical energy consumption of the equipment E_{ae} and the active electrical energy consumption of electrical and mechanical auxiliaries of the equipment E_{aa}

3.128

specific electrical energy consumption of the equipment/installation

e_e/e_i

ratio of the electrical energy consumption of the equipment/installation E_{ae}/E_{ai} for heating specified billets from their starting temperature θ_{bs} to rated temperature θ_{br} and then holding them for temperature homogeneity, to the total mass of qualified billets of those through-heated billets, during a complete cycle of the batch heating type installation or a longer defined time period of the continuous heating type and stage heating type installations

Note 1 to entry: For a partial through-heating application, only the total mass of the through-heated parts of qualified billets is considered.

[SOURCE: IEC 60398:2015, 3.2.3, modified – The words “energy consumption” and “energy” have been changed to “electrical energy consumption”, the definition suitable for three types of induction through-heating equipment/installation has been given with a note added.]

3.129

productivity

g

<installation> ratio of the total mass of qualified billets of those through-heated billets for heating specified billets from their starting temperature θ_{bs} to rated temperature θ_{br} and then holding them for temperature homogeneity, to the time of a complete cycle of the batch heating type installation or a longer defined time period of the continuous heating type and stage heating type installations, during the complete cycle or the defined time period

Note 1 to entry: For partial through-heating application, only the total mass of the through-heated parts of qualified billets is considered.

[SOURCE: IEC 60050-841:2004, 841-22-71, modified – The definition suitable for three types of induction through-heating installation has been given with a note added.]

3.130

heating efficiency of the equipment/installation

η_e/η_i

ratio of the usable enthalpy increase in the qualified billets of those through-heated billets to the active electrical energy consumption of the equipment E_{ae} or to the active electrical energy consumption of the installation E_{ai} during a complete cycle of the batch heating type installation or a longer defined time period of the continuous heating type and stage heating type installations

[SOURCE: IEC 60398:2015, 3.2.4, modified – The definition suitable for three types of induction through-heating equipment/installation has been given.]

4 Basic provisions for testing and test conditions

This clause of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

4.3 Boundaries of the energy using system for testing

Additional subclause:

4.3.101 Boundaries of induction through-heating installation for testing

The energy consumption of an induction through-heating installation shall also include:

- a) energy consumption of the power circuit of the induction through-heating equipment for heating and holding billets;
- b) energy consumption of the control system of the installation.

The corresponding energy consumption supplied by some public service, for example hydraulic and/or pneumatic pumping station(s) to the installation, may be estimated according to the practical use or ignored when it is very small compared with the whole energy consumption of the installation.

4.4 General requirements for testing

This subclause of IEC 60398:2015 is applicable except for the following replacement and additions.

Replacement (of the first paragraph of this subclause of IEC 60398:2015):

The relevant safety requirements in IEC 60519-1:—, IEC 60519-3:2005 and the manufacturer's instructions shall be observed and necessary protective measures taken during all tests, to ensure safety.

Additions:

The tests of an induction through-heating installation are divided into cold state tests and hot state tests. Unless otherwise specified, the hot state tests shall be undertaken after the cold state tests are qualified.

The cold state tests shall be undertaken after manufacture or repair as well as during installation and regulation in the cold state. Installation and test preparation shall be carried out according to the manufacturer's instructions. Before the test, the electrical connections, switches, control system and some dimensions, etc. of the installation shall be inspected.

The hot state tests shall be undertaken with a new lining of specified dimensions and materials as agreed between the manufacturer and the user. The requirements for test billets shall be in accordance with 6.7.101. The technological process for heating and holding shall be agreed between the manufacturer and the user. The technological process also includes the loading, temperature measurement and unloading of billet. Where a test is to be performed in the hot state (see 3.123), the induction through-heating equipment shall have been in operation for at least 8 h (depending on the dimensions of billet or agreed between the manufacturer and the user) prior to the test. In the case where it starts with a new lining, it shall have been in operation for at least 24 h prior to the test.

The electrical data at the input of the supply line to be established by the tests of items b), c) and e) of 8.3 are related to the rated voltage U_n and the rated frequency f_n . Admissible deviations from the rated voltage and frequency shall be agreed between the manufacturer and the user. If during the test these deviations are exceeded, this shall be taken into account in the evaluation.

In the case where a mains transformer is used solely for the induction through-heating equipment, the electrical values at the input of the supply line may be determined from the corresponding values on the secondary side of the transformer taking into account its characteristic.

All measurements are to be taken using appropriate devices and following accurately the instructions for their use. The accuracy tolerances of all measuring instrument or devices (for values of electrical data, temperature and mass) shall be established and agreed between the manufacturer and the user.

In addition, all equipment composing the induction through-heating installation shall comply with their relevant specifications.

Attention should be drawn to the different parameters to be considered as regards the rated values of an induction through-heating equipment and to the tests intended for their verification; irrespective of the size of the equipment, its performance depends on:

- the heating type of the equipment;
- the design of the equipment and its heating inductor themselves;
- the material, shape and dimensions of the billet;
- the type and automation degree of the handling mechanisms of the billet;
- the type and frequency of the power supply unit used to feed the equipment;
- the type of control and regulating system of the power supply unit for the equipment;
- the ability of the power supply unit of the equipment to react to rapid variations of reactive power.

4.6 Environmental conditions during tests

Addition:

The inlet and outlet temperatures of cooling water of cooling circuits, especially for heating inductors, shall observe the manufacturer's instructions. Excessive or less cooling will influence the measurement of energy efficiency.

5 Comparing equipment or installations

This clause of IEC 60398:2015 is applicable.

6 Measurements and workloads

This clause of IEC 60398:2015 is applicable except as follows.

6.3 Frequency measurement

Addition:

The accuracy of frequency measurement shall be of class 1.5 or better for mains frequency and medium frequency.

6.4 Measurement of electric data

6.4.1 Supply voltage

Addition:

NOTE Information on the influences of actual supply voltage or its variation on the performance of the installation can be found in 8.10 of IEC 60398:2015.

6.4.2 Voltage, current, electrical power and resistance

Addition:

The accuracy of equipment for voltage, current, power and electric energy measurements in the medium frequency shall be of class 2.5 or better.

When the waveforms of voltage and current show distortion, for example in the input and output terminals of the semiconductor frequency converter, special care should be taken and the measuring equipment used shall be able to show true RMS independent from the waveform.

6.4.3 Measurement positions

Addition:

For measurement positions of all electrical parameters of the power circuit of the induction through-heating equipment, see Figures AA.1 to AA.3; they are at the output terminals of the supply disconnecting device for the electrical energy 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 and b) of 4.3.101).

6.7 Workload

Additional subclause:

6.7.101 Test billet of induction through-heating installation

Actual billets shall be used as test billets and their material, shape and dimensions shall be in accordance with the design specifications of the installation. Test billets are provided by the user and their surfaces shall be clean and dry as well as have no scale and obvious burr, especially for the determination of temperature homogeneity of the billet in order to accurately measure the surface temperature.

7 Numerical modelling

This clause of IEC 60398:2015 is applicable with the following addition.

NOTE 101 For the numerical modelling method determining temperature homogeneity of billet, see Annex CC.

8 List of tests

8.1 General requirements

The test items related to safety and mechanical aspects also are important parts of a complete set of tests of the installation. Main safety test items include the measurements of insulation resistance, electric or magnetic fields and touch current as well as the protection test by automatic disconnection of supply, voltage test, dielectric test and accessibility test of live parts, etc. and the test methods shall follow 18.6.1 to 18.6.3 and 18.7.1 to 18.7.4 of IEC 60519-1:—. Mechanical test items include various tests of billet handling mechanisms, the test methods are intended to follow relevant ISO standards.

The tests of the induction through-heating installation may be selected from the tests listed in IEC 60398:2015, with necessary supplements made, according to the installation's features and user's needs. For the test items listed below, this document provides test methods which modify or supplement the related test methods in IEC 60398:2015 and IEC 60519-1:—, according to the installation's features.

8.2 Cold state tests

The following cold state tests are related to safety (see Annex DD):

- a) electrical withstand test of heating inductors (see Clause DD.1);
- b) tightness test of cooling water circuits (see Clause DD.2);
- c) flow test of cooling water circuits (see Clause DD.3).

8.3 Hot state tests

The following hot state tests are optional and may be selected as required for the characterization and evaluation of an induction through-heating installation:

- a) measurement of temperature rise of cooling water (see 9.101);
- b) determination of power and power factor of power circuit of induction through-heating equipment (see 9.102);
- c) determination of holding power (see 9.103);
- d) determination of temperature homogeneity of billet (see 9.104);
- e) determination of specific electrical energy consumption and productivity (see 9.105);
- f) determination of heating efficiency of the equipment/installation (see 9.106);
- g) measurement of temperatures of structural components subject to heat (see 9.107).

9 Technical tests and efficiency of the installation

NOTE This clause corresponds to Clauses 8 and 9 of IEC 60398:2015.

The relevant parts of Clauses 8 and 9 of IEC 60398:2015 are applicable except as follows.

Additional subclauses:

9.101 Measurement of temperature rise of cooling water

This test shall be carried out in the hot state (see 3.123 and 4.4) of the induction through-heating equipment operating at its rated equipment duty (see 3.121), with the flow rate specified by the manufacturer, at the end of the test given in 9.6. The temperature of the cooling water shall be measured by thermometers or monitored by sensors at the inlet and outlet of the cooling water circuits of the equipment. The difference between the outlet and inlet temperatures is the value of temperature rise of the cooling water. During the test, the outlet temperature and the temperature rise shall be within the manufacturer's specifications.

It is recommended that several readings be taken, for example, every 5 min towards the end of the test period given in 9.6, to ascertain that the equipment has attained a stable hot state condition.

9.102 Determination of input power P and power factor λ of power circuit of induction through-heating equipment

The active power P is to be measured and the apparent power S can be determined by the measurements of the current I and voltage U at rated equipment duty (see 3.121) and in the hot state (see 3.123 and 4.4) of the induction through-heating equipment, see Figure AA.1. The power factor λ can be calculated as the ratio of the active power and the apparent power.

A low content of voltage and/or current harmonics does not significantly affect the test result; in these conditions, the power factor λ becomes practically equal to the $\cos \varphi$ measured by means of a $\cos \varphi$ -meter. In the case of a three-phase supply, it should be ensured that, during these measurements, currents in the three phases show no significant unbalance. It should be considered as a guideline that this requirement is met when the deviation of the current values from their mean value does not exceed $\pm 10\%$. Where the out-of-balance of the three-phase line currents exceeds $\pm 10\%$, an appropriate and more accurate method should be employed.

Active and reactive power remaining relatively constant during this test, active power may also be determined by the active energy (measured by an energy-meter) consumed during a given time period divided by the time of the time period. Similarly, power factor λ may be determined by measuring the active and reactive energy consumed in the same time period by means of adequate energy-meters.

9.103 Determination of holding power P_h

The test shall be carried out after the induction through-heating equipment containing the specified billet has been in normal operation for a sufficient time to ensure that it is in the hot state (see 3.123 and 4.4). The measurement shall be undertaken during a certain time period at the latter stage of the billet holding operation. The temperature of the billet shall be monitored so that the final temperature of the billet is maintained as constant as practicable throughout the time period.

For the batch heating type equipment and continuous heating type equipment only having one heating inductor, the holding-electrical consumption is measured directly at the input to its power circuit (see Figure AA.1).

For the continuous heating type equipment and stage heating type equipment having several heating inductors and one of them specially for holding the billet:

- the holding-electrical consumption is measured at the input of the power circuit which supplies electrical energy only to the heating inductor for holding;
- or in the case where the heating inductors for heating and holding are supplied by the same rectifier transformer (see Figure AA.2), the holding-electrical consumption is the electrical energy consumption E_{sfch} measured at the input of the frequency converter which supplies electrical energy only to the compensated circuit containing the heating inductor for holding, divided by the efficiency of the rectifier transformer η_{rt} ;
- or in the case where the heating inductors for heating and holding are supplied by the same rectifier (see Figure AA.3), measure the DC input power P_{sih} of the series type inverter which supplies electrical energy only to the compensated circuit containing the heating inductor for holding, at some time of the above-mentioned time period when the power is more stable.

The holding power is calculated by dividing the holding-electrical consumption measured during the above-mentioned time period by the time of the time period; or by dividing the above-mentioned P_{sih} by the rectifier transformer efficiency η_{rt} and the rectifier efficiency η_r .

For other power sources with different structure, the determination of holding power may be carried out with reference to the above-mentioned test methods.

9.104 Determination of billet temperature homogeneity $\Delta\theta_b$

See Annex CC.

9.105 Determination of specific electrical energy consumption e_e/e_i and productivity g

Unless otherwise arranged, determination of the specific electrical energy consumption e_e/e_i and productivity g is carried out at the site of the user.

The measurement shall be carried out after the induction through-heating equipment has been in normal operation for a sufficient time, to ensure that it is in the hot state (see 3.123 and 4.4). For the boundaries of induction through-heating installation for testing, see 4.3.101. For the measuring positions of the electrical energy consumptions of the power circuit of induction through-heating equipment as well as its electrical and mechanical auxiliaries, see 6.4.3. In addition, the starting temperature of the billet shall be measured and the billet temperature before its extracting shall be monitored.

The supplementary specifications for different heating types of installations are as follows:

a) Batch heating type installation

Not less than three successive operation cycles shall be undertaken. The active electrical energy consumption of the equipment E_{ae} and the active electrical energy consumption of electrical and mechanical auxiliaries of the equipment E_{aa} as well as the mass of the test billet G_{test} are measured during each operation cycle (including the loading, heating, holding and unloading of the billet).

The specific electrical energy consumption of the installation e_i is calculated by dividing E_{ae} and E_{aa} by G_{test} . The specific electrical energy consumption of the equipment e_e is calculated by dividing E_{ae} by G_{test} . The productivity g is calculated by dividing G_{test} by the time of the operation cycle. Take the average of the values measured in the above-stated several operation cycles as the determination result.

b) Continuous heating type and stage heating type installations

E_{ae} , E_{aa} and G_{test} are measured during a longer defined time period of the equipment's continuous operation. The time of the defined time period shall not be less than 4 h to approximately 8 h, depending on the dimensions of the billet or is agreed between the manufacturer and the user.

The calculations of the specific electrical energy consumption of the equipment/installation e_e/e_i are the same as in item a) above. The productivity g is calculated by dividing G_{test} by the time of the defined time period.

For a partial through-heating application, the total mass of the through-heated parts of qualified billets shall be considered in the above-mentioned calculations.

9.106 Determination of heating efficiency of the equipment/installation η_e/η_i

The heating efficiency of the induction through-heating equipment/installation may be calculated by use of e_e and e_i measured in 9.105 as follows:

$$\eta_e = e_{min} / e_e \quad (1)$$

$$\eta_i = e_{min} / e_i \quad (2)$$

$$e_{min} = 0,278 \, c_p(T) \times \Delta T \quad (3)$$

where

- η_e is the heating efficiency of the induction through-heating equipment, in %;
- η_i is the heating efficiency of the induction through-heating installation, in %;
- e_{min} is the theoretical minimum specific electrical energy consumption of the billet, in kW·h/t;

- e_e is the specific electrical energy consumption of the induction through-heating equipment, in kW·h/t;
- e_i is the specific electrical energy consumption of the induction through-heating installation, in kW·h/t;
- $c_p(T)$ is the specific heat of the billet, in kJ/kg °C, its possible nonlinear characteristic with temperature and step change at some point shall be considered;
- ΔT is the temperature change of the billet from its starting temperature to its final temperature, in °C.

The heating efficiency including unqualified billets may also be calculated when requested.

9.107 Measurement of temperatures of structural components subject to heat

This test shall be carried out in the hot state (see 3.123 and 4.4) of the induction through-heating equipment operating at rated conditions, for example, immediately after the test described in 9.105.

The measuring points of the surface temperature are specified as follows:

- a) the arbitrary points on surfaces of the end plates fixing the induction coil and the supporting frame or cabinet of heating inductor;
- b) the arbitrary points on surfaces of the connection terminals of induction coil as well as heavy current busbars and their connection terminals.

For the end plates fixing the induction coil, their surface adjacent to the port of induction coil is not within the measuring range.

The surface temperature shall be measured by means of a contact thermocouple, thermometer or equivalent sensor with accuracy of class 2.5 or better.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annex A
(informative)

Energy efficiency assessment

Annex A of IEC 60398:2015 is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annex B
(informative)

Visual display of energy efficiency related information

Annex B of IEC 60398:2015 is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annex C
(informative)

Estimating energy use

Annex C of IEC 60398:2015 is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annex D
(informative)

Energy recoverability

Annex D of IEC 60398:2015 is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

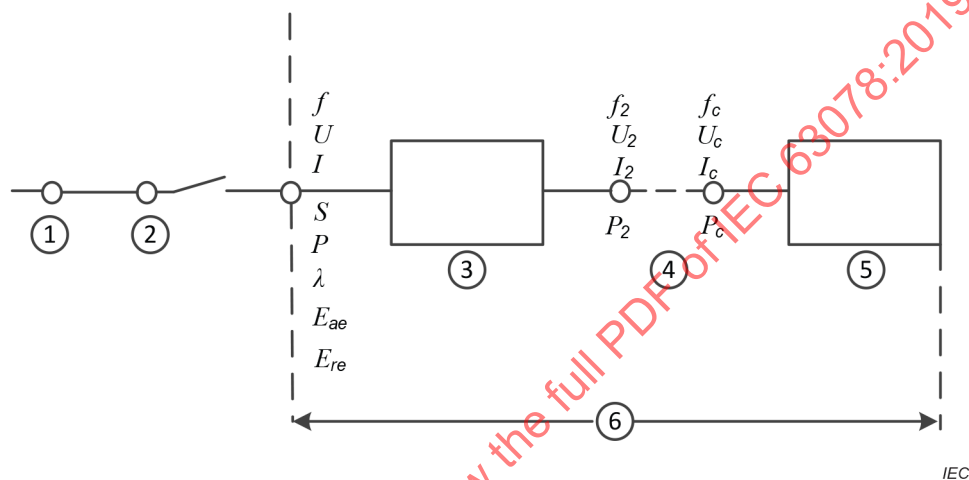
Annex AA (normative)

Explanatory diagrams for symbols and definitions relating to the power circuit of induction through-heating equipment

AA.1 Power circuit of induction through-heating equipment

See Figures AA.1 to AA.3.

NOTE For the list of symbols, see Annex BB.

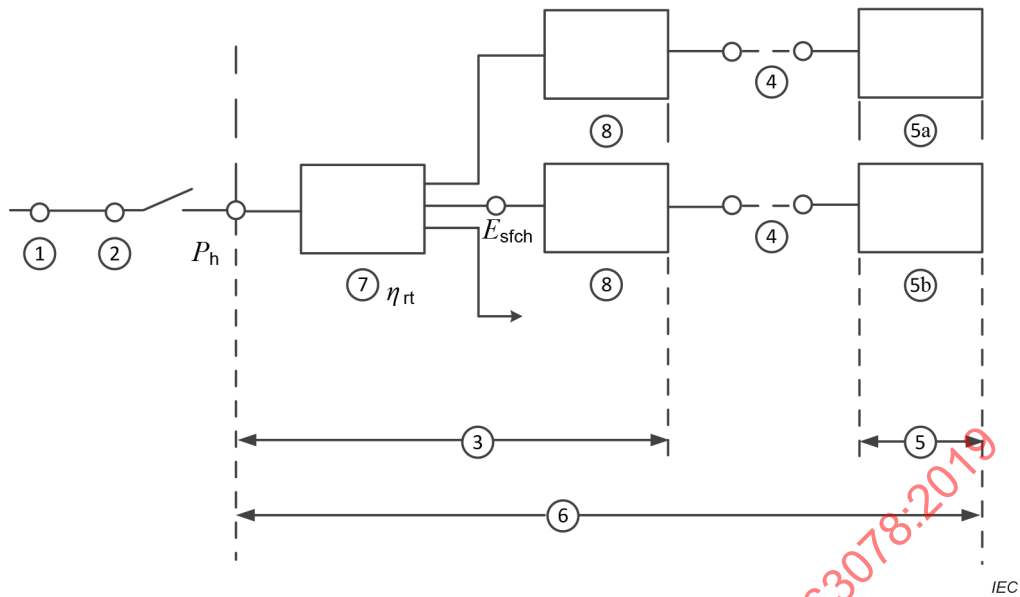


Key

- 1 supply line
- 2 supply disconnecting device
- 3 power source
- 4 connection, for example, busbars, flexible cables (active and/or reactive impedances)
- 5 compensated circuit/load
- 6 power circuit of induction through-heating equipment

After the supply disconnecting device, several power circuits may be connected in parallel, which are composed of ③, ④ and ⑤ and may have the same or different operation parameters. Sometimes one power source may supply several compensated circuits/loads, which may have the same or different structure and operation parameters, see Figure AA.2 and Figure AA.3.

Figure AA.1 – Basic power circuit of the induction through-heating equipment



Key

1 to 6 see Figure AA.1

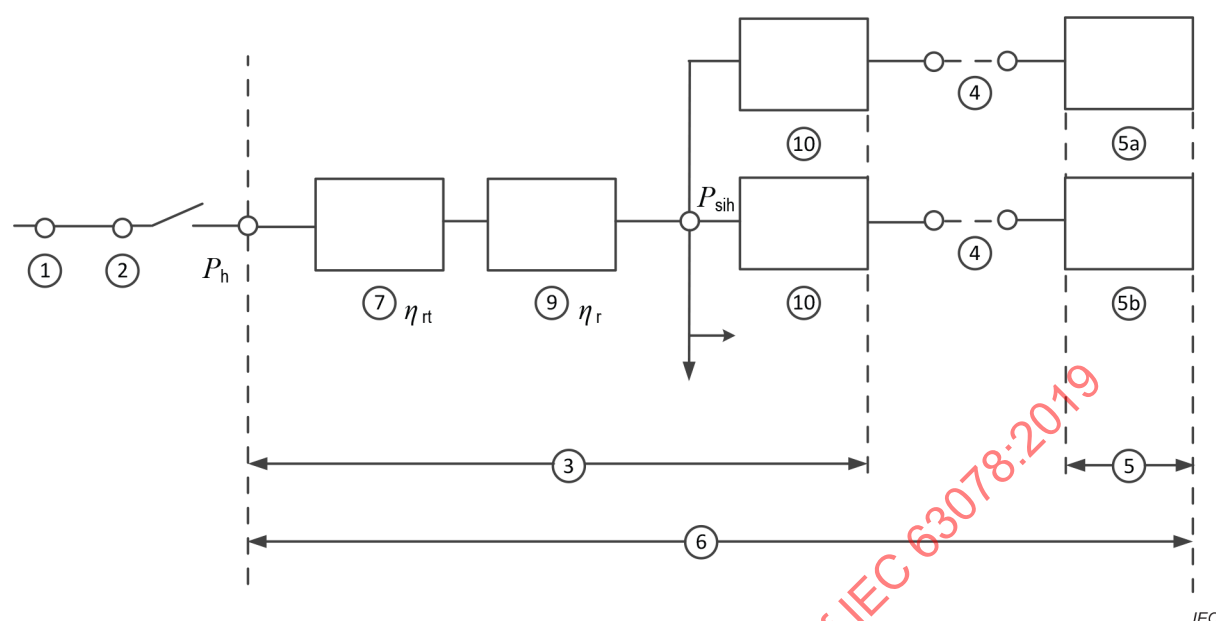
7 rectifier transformer (for large power);

8 semiconductor frequency converter (usually having different parameters)

5a compensated circuit/load having heating inductor for heating

5b compensated circuit/load having heating inductor for holding

Figure AA.2 – Power circuit of the induction through-heating equipment having one rectifier transformer as well as several semiconductor frequency converters and compensated circuits/loads

**Key**

1 to 7, 5a and 5b see Figure AA.2

9 rectifier

10 series type inverter (usually having different parameters)

NOTE 9 and 10 compose a series type semiconductor frequency converter.

Figure AA.3 – Power circuit of the induction through-heating equipment having one rectifier transformer, one rectifier as well as several series type inverters and compensated circuits/loads

AA.2 Examples of power sources

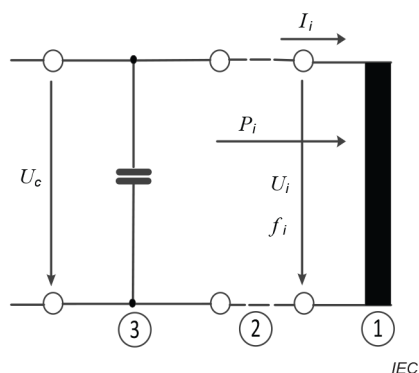
Power sources can be:

- Single-phase supply. Tap-changing transformer or other voltage-regulating device + load-switching contactors for mains-frequency single-phase induction through-heating equipment.
- Three-phase supply. Tap-changing transformer or other voltage-regulating device, load-switching contactors + phase-balancing equipment for mains-frequency single-phase induction through-heating equipment.
- Three-phase supply. Semiconductor frequency converter, including switching devices and rectifier transformer (for large power converter), for single-phase induction through-heating equipment operating at other than mains-frequency, see Figure AA.2 and Figure AA.3.
- Three-phase supply. Tap-changing transformer or other voltage-regulating device, load-switching contactors + phase-balancing equipment for the induction through-heating equipment with several heating inductors. The phase-balancing equipment may be omitted, if three identical heating inductors/loads are connected respectively to each phase.

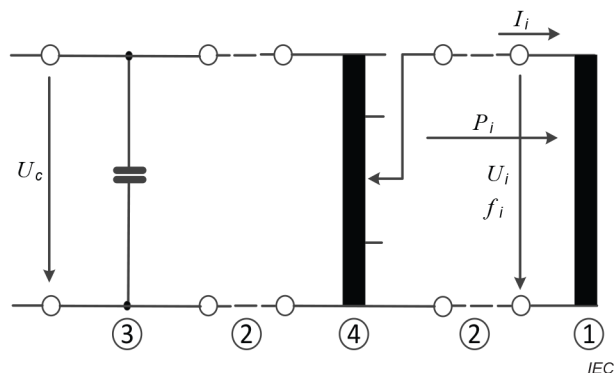
AA.3 Examples of compensated circuit of induction through-heating equipment

See Figure AA.4.

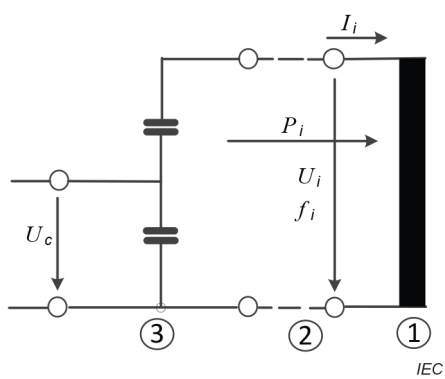
NOTE For the list of symbols, see Annex BB.



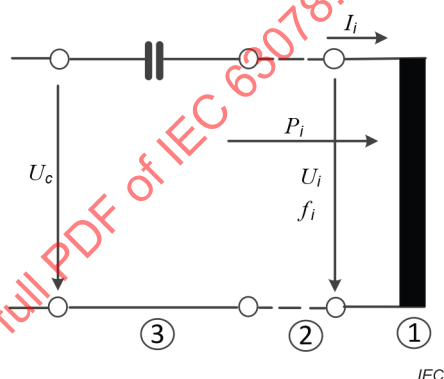
a) Parallel compensated circuit



b) Parallel compensated circuit with load matching transformer



c) Parallel compensated circuit with capacitive voltage transformation



d) Series compensated circuit

Key

- 1 heating inductor, which may consist of one coil or several coils in series or in parallel (predominantly inductive load with active component)
- 2 connection (for example, busbars, flexible cables) representing active and/or reactive impedances
- 3 compensating capacitors
- 4 load matching transformer

Figure AA.4 – Examples of compensated circuits

Annex BB (informative)

List of symbols used in this document

Symbol	Terms
$\cos \varphi$	power factor of the power circuit of induction through-heating equipment under sinusoidal conditions
$c_p(T)$	specific heat of the billet
e_e	specific electrical energy consumption of induction through-heating equipment
e_i	specific electrical energy consumption of induction through-heating installation
$e_{\min}$	theoretical minimum specific electrical energy consumption of billet
E_{aa}	active electrical energy consumptions of electrical and mechanical auxiliaries of the induction through-heating equipment
E_{ae}	active electrical energy consumption of the power circuit of induction through-heating equipment
E_{ai}	active electrical energy consumption of the induction through-heating installation
E_{re}	reactive electrical energy consumption of the power circuit of induction through-heating equipment
E_{sfch}	electrical energy consumption of the semiconductor frequency converter supplying to the compensated circuit/load for holding
f	frequency at the supply line to the power circuit of induction through-heating equipment
f_2	frequency at the output of the power source
f_c	frequency at the input of the compensated circuit ($= f_2$)
f_i	frequency across the terminals of the heating inductor
g	productivity
G_{test}	mass of test billet
I	current at the supply line to the power circuit of induction through-heating equipment
I_2	current at the output of the power source
I_c	current at the input of the compensated circuit ($= I_2$)
I_i	current absorbed by the heating inductor of induction through-heating equipment
P	active power at the supply line to the power circuit of induction through-heating equipment
P_2	active power at the output of the power source
P_c	active power at the input of the compensated circuit
P_h	holding power of the induction through-heating equipment
P_l	power absorbed by the heating inductor of induction through-heating equipment
P_{sih}	DC input power of the series type inverter supplying to the compensated circuit/load for holding
S	apparent power at the supply line to the power circuit of induction through-heating equipment
U	voltage at the supply line to the power circuit of induction through-heating equipment
U_2	voltage at the output of the power source
U_c	voltage at the input of the compensated circuit
U_i	voltage across the terminals of the heating inductor of induction through-heating equipment
θ_b	billet temperature
θ_{bf}	final temperature of billet
θ_{br}	rated temperature of billet
θ_{bs}	starting temperature of billet
θ_{wi}	inlet temperature of the cooling water
θ_{wo}	outlet temperature of the cooling water

Symbol	Terms
$\Delta\theta_b$	temperature homogeneity of billet
$\Delta\theta_{bl}$	longitudinal temperature difference of billet
$\Delta\theta_{br}$	radial temperature difference of billet
$\Delta\theta_{bt}$	transverse temperature difference of billet
λ	power factor of the power circuit of induction through-heating equipment
η_e	heating efficiency of induction through-heating equipment
η_i	heating efficiency of induction through-heating installation
η_r	efficiency of rectifier
η_{rt}	efficiency of rectifier transformer

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annex CC (normative)

Determination of billet temperature homogeneity $\Delta\theta_b$

CC.1 General requirements and measuring conditions

The temperature field inside the billet depends on the Joule heat distribution produced by the eddy currents which are induced within the billet due to the electromagnetic induction effect, and the temperature balance within the billet formed by thermal conduction and the heat losses of the billet surfaces, etc. Determination of temperature homogeneity of the billet shall comply with the specifications in 8.12.3 of IEC 60398:2015 and the following additions.

- a) The determination of the temperature homogeneity of billets is carried out on the billet which has fulfilled the heating and holding process agreed between the manufacturer and the user, after the induction through-heating equipment has been in normal operation for a sufficient time, to ensure that it is in the hot state (see 3.123 and 4.4).
- b) The temperature measurement shall be in accordance with 6.5 of IEC 60398:2015 and the additional specifications of this annex. All the instruments and sensors for temperature measurement used during the test, shall be appropriate and calibrated within the scope of the measured temperature, with the correction given. The temperatures at all measuring points of the billet shall be measured by use of the same instrument and sensor or instruments/sensors of the same type and specifications, and the temperature measurements shall be fulfilled at the same time or during a period as short as possible.
- c) The test billets shall comply with the specifications in 6.7.101.
- d) It should be pointed out that the position of the temperature control point for heating and holding the billet has an important influence on the determination result of the temperature homogeneity of the billet. It should be at the position where the highest temperature of the billet is always reached during heating.

CC.2 Three measuring methods

There are three methods for measuring the temperature homogeneity of the billet as follows.

a) Surface measuring method

This is a measuring method by which the temperatures on the surfaces of the billet to be extracted or just extracted or at the specified points on the surfaces (see Clause CC.3), are measured by use of infrared camera, pyrometer, thermo-paint or contact thermocouple to determine the temperature homogeneity of the billet. The method is simple and convenient, and is applicable to various heating types of induction through-heating equipment, normal test and actual production, and can summarily reflect the temperature homogeneity of the billet.

When measuring, the influences of the following factors on the measured temperature shall be considered and eliminated:

- surface conditions of the billet, for example surface roughness and scale or other deposits on the surface; it is recommended to clear any potential scale on the measuring point before temperature measurement;
- medium absorption on measuring path and the interference of outside light, etc., when using an infrared camera and a pyrometer.

When using thermo-paint, it shall be pre-spread on all the specified temperature measuring points of the test billet's surfaces, the spot shall be big enough to show the temperature of each point or ensure that the whole surface of the billet is covered as requested, to show the temperature distribution.

When using an infrared camera and a pyrometer, their probes shall be nearly at the vertical direction of the measured surface.

If applicable, it is recommended to use an infrared camera to measure the 2D temperature distribution of the billet surface, for example, for the determination of the transverse or radial temperature difference of the billet end surface; or to use a remote point infrared temperature measuring equipment to measure the temperature on the longitudinal axis which passes the side surface's centre of the moving billet, for the determination of the longitudinal temperature difference of the billet side surface. The infrared equipment's response time shall be set according to the billet moving speed.

b) Thermocouple-embedded measuring method

This is a measuring method by which thermocouples are embedded into the pre-drilled holes and localized at the surface layer and interior of the test billet according to the requirements for temperature measuring points (see Clause CC.3), to determine the temperature homogeneity of the billet. The diameter of the hole can be such that a thermocouple can be inserted more tightly into it. Measures should be taken to ensure the thermocouple junction is at the specified position and in tight contact with the billet. This method may be used to measure the 3D temperature distribution of the billet, monitor reliably and continuously the temperature change of each measuring point during the whole through-heating process and accurately determine the temperature homogeneity and final temperature of the billet. However, it has some shortages, such as more complication, drilling damage to billet, more and longer thermocouple lead, etc. It is only applicable to the stationary billet when heated and mainly used for the verification of inductor design to obtain optimal temperature homogeneity of the billet. The data obtained by this method may be used to verify the surface measuring method and the numerical modelling method mentioned below. This method does not apply to a higher frequency.

The temperatures of the thermocouples which are fixed at the temperature measuring points of the billet shall be, simultaneously and continuously, measured and recorded by use of DC digital voltmeters or thermocouple A/D modules of PLC, having an accuracy of class 0.1 or 0.2 and a resolution of at least 0.001 mV.

It is recommended to pre-measure temperatures of all points before starting the formal test, to verify that the temperature measuring system is in working condition.

c) Numerical modelling method

The numerical modelling based on Maxwell's equation for electromagnetic field and Fourier's equation for thermal field can be used to solve and analyse the 3D temperature distribution of the inductively through-heated billet, with the finite element method adopted to tackle the non-linear behaviour caused by the temperature variation of the billet and the coupled electromagnetic and thermal process. The temperature homogeneity of the billet can then be obtained.

This method has successfully been used in the optimized design of induction through-heating equipment to obtain the billet temperature distribution required by hot forming process, and can considerably reduce test expense and errors. The general requirements for the method shall be in accordance with Clause 7, its feasibility and calculating accuracy shall be verified by the thermocouple-embedded measuring method, and corresponding or better accuracy reached.

CC.3 Arrangement of temperature measuring points

Considering convenience and feasibility of actual temperature measurement, the temperature measuring points should be set on the end and side surfaces of the billet and not at its top, bottom and deeper interior, unless otherwise specified by the user.

On the surfaces of the billet, the distance of a measuring point from the periphery of surface is Δ , Δ is about 5 mm to 10 mm, dependent on the dimensions of the billet. For the thermocouple-embedded measuring method, the depth of the holes on the surfaces is also Δ .

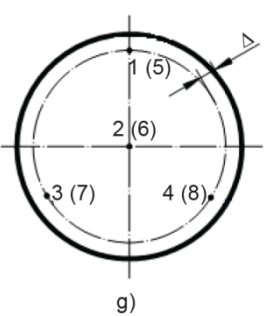
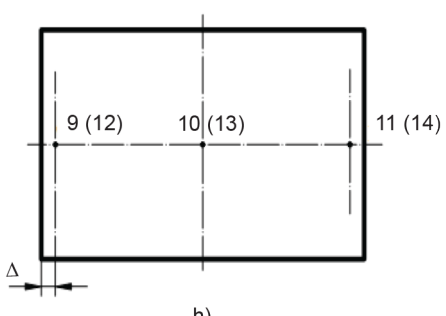
The arrangement of the least measuring points for the surfaces of the billets having rectangular or circular cross sections is shown in Table CC.1. The four measuring points 7, 10 and 9, 12 in Table CC.1, item d) may be replaced with the measuring points 3, 1 and 6, 4 in item c) respectively. Thus the number of measuring points may be correspondingly reduced,

which is preferable, especially for the thermocouple-embedded measuring method. The same applies to Table CC.1, item f) and item e). For the thermocouple-embedded measuring method, another measuring point shall be set at the centre of the billet.

For a longer billet, measuring points may be appropriately added at equal distance, on the longitudinal axes of two side surfaces and on the longitudinal axis through the centre of the billet (the latter is applicable to the thermocouple-embedded measuring method), as agreed between the manufacturer and the user. For billets having other shapes of cross section and non-identical cross section, the arrangement of measuring points may be agreed between the manufacturer and the user, referring to the above-mentioned requirements.

Table CC.1 – Arrangement of temperature measuring points of the billets

Shape of cross section	Dimensions of end surface	Two end surfaces	Two side surfaces
rectangle	larger	a) IEC	b) IEC
	smaller or flatter	c) IEC	d) IEC
circle	larger diameter	e) IEC	f) IEC

Shape of cross section	Dimensions of end surface	Two end surfaces	Two side surfaces
	smaller diameter	 g)	 h)

NOTE The Arabic numerals in items a) to h) are the labels of measuring points, the numerals in brackets are the ones for opposite end surface or side surface.

CC.4 Determination method

CC.4.1 Batch heating type induction through-heating installation

a) Surface measuring method

When using an infrared camera and a pyrometer, the test shall be continuously carried out according to the requirements in Clause CC.1 and Clause CC.2 a), on the even billets which comprise no less than four pieces (dependent on the dimensions of the billet) and are just extracted from the heating inductor for holding. For each just-extracted billet, the test shall be done at once to successively measure the temperature distribution on two end surfaces and two side surfaces. The measuring sequence of all measured surfaces is just the opposite for two adjacent billets to eliminate the influence of the measuring sequence on the temperature measurement. Due to a quick cooling and oxidizing of the billet surface (especially the end surface) after its extraction, the circulating measuring time for each billet shall be as short as possible and should not exceed 10 s to 20 s, depending on the dimensions of the billet and the rated temperature.

Having finished all the measurements and calculated the average value of each point's temperature readings, the temperature homogeneities of the tested billets, i.e. temperature homogeneity of billet, transverse temperature difference of billet, radial temperature difference of billet and longitudinal temperature difference of billet, are respectively determined according to the definitions of 3.116 to 3.118 as follows:

$$\Delta\theta_{b\max} = \theta_{b\max} - \theta_{br} \quad (\text{CC.1})$$

$$\Delta\theta_{b\min} = \theta_{b\min} - \theta_{br} \quad (\text{CC.2})$$

$$\Delta\theta_{bt(r)\max} = \theta_{bt(r)\max} - \theta_{bt(r)o} \quad (\text{CC.3})$$

$$\Delta\theta_{bt(r)\min} = \theta_{bt(r)\min} - \theta_{bt(r)o} \quad (\text{CC.4})$$

$$\Delta\theta_{bl} = \theta_{bl\max} - \theta_{bl\min} \quad (\text{CC.5})$$

where

$\Delta\theta_{b\max}$, $\Delta\theta_{b\min}$ are the maximum and minimum temperature deviations of the tested billets, in °C;

$\theta_{b\max}$, $\theta_{b\min}$ are the maximum and the minimum among the corrected average values of the temperatures measured at the measuring points of the tested billets, in °C;

θ_{br} is the rated temperature of billet, in °C;

$\Delta\theta_{bt(r)max}, \Delta\theta_{bt(r)min}$	are the maximum and minimum transverse (radial) temperature differences of the tested billets, in °C;
$\theta_{bt(r)max}, \theta_{bt(r)min}$	are the maximum and minimum among the corrected average value of the temperatures measured at the measuring points on the periphery of an end surface of the tested billets, in °C;
$\theta_{bt(r)o}$	is the corrected average value of the temperatures measured at the centre of an end surface of the tested billets, in °C;
$\Delta\theta_{bl}$	is the longitudinal temperature difference of the billet, in °C;
$\theta_{blmax}, \theta_{blmin}$	are the maximum and minimum among the corrected average values of the temperatures measured at the measuring points on the longitudinal axis of a side surface of the tested billets, in °C.

Respectively take the average of the values of the various temperature homogeneity of the billet measured on the two end surfaces or the two side surfaces as their respective determination results.

When using an infrared camera, a pyrometer and a thermo-paint, the measuring points for calculating the temperature homogeneity of the billet may be in accordance with the specifications set out in Clause CC.3 or be extended to the whole or partial surface containing these measuring points. Find the maximum and the minimum among the temperatures at these points or on the surface and carry out calculations according to Formulas (CC.1) to (CC.5).

When the temperature measurement is carried out by use of the contact thermocouples which are fixed on the temperature measuring points of the surface according to the methods mentioned in 6.5.2 of IEC 60398:2015, the temperatures of all points shall be continuously measured and recorded during the test, following the applicable requirements of Clause CC.2 b).

b) Thermocouple-embedded measuring method

For the temperature data of all measuring points measured according to the requirements in Clause CC.1 and Clause CC.2 b), only the latter ones during the holding stage are taken, and then the same calculations and treatment as in a) of this subclause are made according to Formulas (CC.1) to (CC.5), to obtain the temperature homogeneities of the tested billets.

c) Numerical modelling method

When calculating the temperature homogeneities of the billet based on the data of billet temperature distribution obtained by use of the numerical modelling method described in Clause CC.2 c), temperature measuring points shall at least include the points specified in Clause CC.3 or should be extended to the whole billet. Then make calculations according to Formulas (CC.1) to (CC.5).

CC.4.2 Continuous heating type and stage heating type induction through-heating installations

Generally, only the surface measuring method and the numerical modelling method can be adopted, the determination method shall be respectively in accordance with CC.4.1 a) and c).

For a continuous heating type installation, the temperatures of all points on the side surface's longitudinal axes of the tested billets which are extracted at a specified speed, may be continuously measured and recorded by use of an infrared temperature measuring equipment fixed at the place adjacent to the exit port, and then its longitudinal temperature difference $\Delta\theta_{bl}$ is calculated according to the maximum and the minimum of the measured temperature curve or data. Take the average of $\Delta\theta_{bl}$ values of the tested billets which are continuously extracted and comprise no less than four pieces as a determination result. This method may avoid some error sources generally encountered with an infrared camera. When billets are conveyed one against the other and are not differentiated, the temperature is continuously measured for a period (at least, more than four pieces), to determine the maximum and the minimum values during the period and obtain $\Delta\theta_{bl}$.

Annex DD (informative)

Methods for safety tests

DD.1 Electrical withstand test of heating inductor

This test shall be performed at mains frequency with a substantially sine-wave voltage of $(2U_n + 1\,000)$ V (with a minimum of 2 000 V) where U_n is the rated voltage of the heating inductor coil. The voltage shall be applied between components which are live when the induction through-heating equipment is in normal operation and all other metal parts of the heating inductor (including track, fastenings and supporting frame or cabinet etc.) which are to be connected together and earthed for this test. The voltage shall be raised progressively within 10 s to its test value, which then should be maintained for 1 min.

The electrical withstand test for heating inductor is performed after its lining is rammed or fitted. In the case of water-cooled coils, the cooling water hoses are disconnected so that the components which are normally live during the service of the equipment are not connected electrically to the supporting frame or cabinet of the heating inductor via the water.

No breakdown or flashover of the insulation shall occur during these tests.

DD.2 Tightness test of cooling water circuits

The test is to verify the tightness of the cooling water circuits. After closing the outlet of water circuits, the water pressure is raised by a pump to 150 % of the pressure specified by the manufacturer of the induction through-heating equipment. This pressure is to be maintained in the closed water circuits for at least 5 min. Neither water leakage nor pressure decrease shall occur during this test.

Pressure surges are to be avoided during the test.

DD.3 Flow test of cooling water circuits

The test is to verify that the cooling water circuits will carry the specified flow without exceeding a specified pressure drop.

The water flow of the circuit shall be measured by use of a flowmeter or determined by the volume of flowing-out water during a certain time period divided by the time.

Bibliography

The Bibliography of IEC 60398:2015 is applicable with the following additions.

Additions:

IEC 62076:2006, *Industrial electroheating installations – Test methods for induction channel and induction crucible furnaces*

IEC 60683:2011, *Industrial electroheating equipment – Test methods for submerged-arc furnaces*

UIE, *Induction Heating – Industrial Applications*, 1992

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	37
INTRODUCTION	39
1 Domaine d'application	40
2 Références normatives	40
3 Termes et définitions	41
4 Dispositions fondamentales relatives aux essais et conditions d'essai	46
5 Comparaison des installations ou équipements	48
6 Mesures et charges de travail	48
7 Modélisation numérique	49
8 Liste des essais	49
9 Essais techniques et rendement de l'installation	50
Annexe A (informative) Evaluation de l'efficacité énergétique	54
Annexe B (informative) Représentation visuelle des informations d'efficacité énergétique	55
Annexe C (informative) Estimation de l'utilisation d'énergie	56
Annexe D (informative) Récupérabilité énergétique	57
Annexe AA (normative) Schémas explicatifs pour les symboles et définitions relatifs au circuit de puissance d'un équipement de chauffage par induction	58
Annexe BB (informative) Liste des symboles utilisés dans le présent document	62
Annexe CC (normative) Détermination de l'homogénéité de la température de la billette $\Delta\theta_b$	64
Annexe DD (informative) Méthodes d'essais de sécurité	70
Bibliographie	71
Figure AA.1 – Circuit de puissance de base de l'équipement de chauffage par induction	58
Figure AA.2 – Circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction possédant un transformateur redresseur ainsi que plusieurs convertisseurs de fréquence à semiconducteurs et circuits compensés/charges	59
Figure AA.3 – Circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction possédant un transformateur redresseur, un redresseur ainsi que plusieurs onduleurs de type en série et circuits compensés/charges	60
Figure AA.4 – Exemples de circuits compensés	61
Tableau CC.1 – Disposition des points de mesure de la température des billettes	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTALLATIONS POUR TRAITEMENT ÉLECTROTHERMIQUE
ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE – MÉTHODES D'ESSAI POUR
LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE PAR INDUCTION****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 63078 a été établie par le comité d'études 27 de l'IEC: Chauffage électrique industriel et traitement électromagnétique.

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

FDIS	Rapport de vote
27/1118/FDIS	27/1119/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.

Cette Norme internationale doit être utilisée conjointement avec l'IEC 60398:2015.

Les articles du présent document complètent, modifient ou remplacent les articles de l'IEC 60398. Lorsque le présent document spécifie "addition", "modification" ou "remplacement", le texte correspondant de l'IEC 60398 doit être adapté en conséquence.

Les paragraphes qui viennent en complément de l'IEC 60398 sont numérotés à partir de 101. Les annexes supplémentaires sont numérotées 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

INTRODUCTION

Le chauffage par induction et la fusion par induction sont des applications de chauffage à induction très importantes. Toutefois, une installation de chauffage par induction est plus complexe qu'un four de fusion par induction, dans la mesure où elle présente davantage de variétés, de tailles et de façons de chauffer. De plus, des essais de performances très importants pour les utilisateurs, comme la détermination de l'homogénéité de la température des billettes et la détermination de l'efficacité énergétique de l'installation, ne sont pas simples à réaliser.

Les installations de chauffage par induction sont largement utilisées dans de nombreuses industries, telles que la construction mécanique, la métallurgie, pour le chauffage de billettes ou de pièces en acier allié, cuivre, aluminium, etc., avant leur façonnage à chaud ultérieur, par exemple forgeage, extrusion et laminage, avec un chauffage propre et rapide, un contrôle de la température et une automatisation aisés, ainsi qu'un degré d'économie énergétique élevé.

Le présent document a été élaboré sur la base de l'IEC 60398:2015, avec des références à l'IEC 62076:2006 et au document "Induction Heating – Industrial Applications" publié par l'UIE en 1992.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

INSTALLATIONS POUR TRAITEMENT ÉLECTROTHERMIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE – MÉTHODES D'ESSAI POUR LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE PAR INDUCTION

1 Domaine d'application

L'article de l'IEC 60398:2015 est remplacé par l'article suivant:

Le présent document spécifie les procédures, conditions et méthodes d'essai permettant de déterminer les paramètres de performance principaux et les caractéristiques de fonctionnement principales des installations de chauffage par induction.

Les mesures 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 60519-3.

Le présent document s'applique aux installations de chauffage à induction qui chauffent tout ou partie d'une billette ou pièce métallique en vue de son façonnage à chaud ultérieur (par exemple forgeage, extrusion et laminage) en utilisant des fréquences basses, moyennes ou de réseau. Il est possible de l'utiliser comme référence pour d'autres installations de chauffage par induction pour traitement thermique ou autres usages, ainsi que pour des installations de chauffage par induction en courant continu supraconductrices.

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 de l'IEC 60398:2015 s'applique, avec les exceptions suivantes:

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 60519-1:—1, *Sécurité dans les installations destinées au traitement électrothermique et électromagnétique – Partie 1: Exigences générales*

¹ Sixième édition en cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC PRVC 60519-1:2019.

IEC 60519-3:2005, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 3: Règles particulières pour les installations de chauffage par induction et par conduction et pour les installations de fusion par induction*

3 Termes et définitions

L'article de l'IEC 60398:2015 s'applique, avec les exceptions suivantes:

Remplacement:

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

Additions:

NOTE 101 Pour les définitions suivantes de termes relatifs à des parties ou des paramètres électriques du circuit de puissance d'un équipement de chauffage par induction, voir également les schémas explicatifs de l'Annexe AA. Les symboles sont également répertoriés à l'Annexe BB.

3.101

installation de chauffage par induction

installation comprenant un équipement de chauffage par induction et les accessoires électriques et mécaniques nécessaires au fonctionnement et à l'utilisation de l'équipement

Note 1 à l'article: Les accessoires électriques comprennent tous les composants électriques du circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction, l'alimentation électrique des accessoires mécaniques et du système de commande; les accessoires mécaniques comprennent le mécanisme de manutention des billettes et sa puissance mécanique, ainsi que le système de refroidissement par eau, etc.

3.102

équipement de chauffage par induction

équipement comprenant un ou plusieurs inducteurs de chauffage, des cadres de support (baies) et les raccordements pour l'eau de refroidissement et l'électricité, etc. en vue du chauffage par induction et du maintien de billettes

3.103

chauffage discontinu

façon de chauffer statique et répétitive, qui implique le placement d'une billette individuelle dans un inducteur de chauffage afin de la chauffer et de la maintenir, puis de l'extraire

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.39, modifié – Les différences entre le chauffage par induction et la fusion par induction en ce qui concerne la charge de travail et le procédé technologique ont été prises en compte.]

3.104

chauffage par étapes

façon de chauffer utilisant deux inducteurs de chauffage ou plus, dans laquelle, pour un équipement à deux inducteurs de chauffage par exemple, la billette est d'abord placée dans un inducteur de chauffage afin d'être chauffée, puis déplacée vers un autre inducteur de chauffage pour être maintenue et ensuite extraite

3.105

chauffage continu

façon de chauffer dans laquelle les billettes progressent de façon continue ou rythmique à travers un ou plusieurs inducteurs de chauffage afin d'être chauffées et maintenues

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.40, modifié – Les différences entre le chauffage par induction et la fusion par induction en ce qui concerne la charge de travail et le procédé technologique ont été prises en compte.]

3.106

revêtement

<inducteur de chauffage> partie d'un inducteur, placée entre la bobine inductrice et la billette chauffée pour servir d'isolation thermique, et généralement constituée d'une couche réfractaire et d'une couche de maintien en température, ou directement formée par damage ou coulée de matériaux réfractaires

3.107

circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction

circuit comprenant la ou les sources d'énergie et le ou les circuits compensés de l'équipement de chauffage par induction, y compris les conducteurs raccordant les deux

3.108

source d'énergie

équipement destiné à l'alimentation de puissance du circuit compensé de l'équipement de chauffage par induction, étant une alimentation électrique monophasée ou triphasée à la fréquence du réseau ou un convertisseur de fréquence à semiconducteurs et disposant des caractéristiques principales spécifiées suivantes:

- fréquence f_2 ou domaine de fréquences $f_{21} \dots f_{22}$
- tension U_2 (valeur efficace)
- courant I_2 (valeur efficace)
- puissance active P_2

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.13, modifié – Les types de sources d'énergie utilisés ont été spécifiés et complétés, voir Annexe AA.]

3.109

circuit compensé de l'équipement de chauffage par induction

circuit électrique comprenant un ou plusieurs inducteurs, un banc de capacités de compensation ainsi qu'un transformateur adapté à la charge (le cas échéant)

Note 1 à l'article: Voir Annexe AA.

3.110

masse des billettes d'essai

G_{test}

masse totale des billettes qualifiées parmi les billettes chauffées, utilisée pour déterminer la consommation d'énergie spécifique et la productivité

3.111

dimensions de la billette

dimensions maximales de l'ensemble des billettes, sans aucun dispositif de transport ou de protection, pour lesquelles l'équipement de chauffage par induction est conçu et qui sont indiquées sur la plaque signalétique, exprimées comme le diamètre $\times$ la longueur ou la largeur $\times$ l'épaisseur $\times$ la longueur

3.112**température de la billette** θ_b

température de la billette à un instant donné du cycle de chauffage

3.113**température initiale de la billette** θ_{bs}

température de la billette au début du cycle de chauffage

3.114**température finale de la billette** θ_{bf}

température atteinte par la billette à la fin de la période de maintien du cycle de chauffage

3.115**température assignée de la billette** θ_{br}

température qui doit être demandée par la technologie de chauffage d'une billette d'un matériau donné, pour laquelle l'équipement de chauffage par induction est conçu et qui est indiquée sur la plaque signalétique

3.116**homogénéité de la température de la billette** $\Delta\theta_b$

degré de température homogène de la billette lorsqu'elle est extraite après chauffage et maintien, exprimé par les écarts maximal et minimal des températures mesurées aux points de mesure de la température par rapport à la température assignée de la billette (ces écarts peuvent être positifs ou négatifs), ou exprimé par la différence de température transversale (radiale) et la différence de température longitudinale de la billette pour les billettes de longueur importante avec une section circulaire, rectangulaire, etc. uniforme

Note 1 à l'article: Les exigences et les conditions de mesure pour la détermination de l'homogénéité de la température de la billette sont spécifiées à l'Annexe CC.

3.117**différence de température transversale de la billette****différence de température radiale de la billette** $\Delta\theta_{bt(r)}$

différences de température maximale et minimale, qui peuvent être positives ou négatives, entre la périphérie et le centre de la section d'une billette de longueur importante avec une section uniforme lorsqu'elle est extraite après chauffage et maintien

Note 1 à l'article: Généralement, la température au centre de la section de la billette est plus faible.

Note 2 à l'article: La différence de température radiale $\Delta\theta_{br}$ s'applique pour une billette de section circulaire.

3.118**différence de température longitudinale de la billette** $\Delta\theta_{bl}$

différence entre la température maximale et la température minimale dans le sens longitudinal d'une billette de longueur importante avec une section uniforme lorsqu'elle est extraite après chauffage et maintien

Note 1 à l'article: Généralement, la température aux deux extrémités de la billette est plus faible.

3.119**température d'entrée de l'eau de refroidissement** θ_{wi}

température de l'eau de refroidissement à l'entrée du circuit de refroidissement par eau de l'inducteur de chauffage

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.33, modifié – Le terme et son symbole ont été modifiés, les termes "fluide de refroidissement" et "ensemble inducteur" ont été remplacés par "eau de refroidissement" et "inducteur de chauffage".]

3.120

température de sortie de l'eau de refroidissement

θ_{wo}

température de l'eau de refroidissement à la sortie du circuit de refroidissement par eau de l'inducteur de chauffage, l'équipement de chauffage par induction étant en fonctionnement aux conditions assignées

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.34, modifié – Le terme et son symbole ont été modifiés, les termes "fluide de refroidissement", "ensemble inducteur" et "four" ont respectivement été remplacés par "eau de refroidissement", "inducteur de chauffage" et "équipement de chauffage par induction".]

3.121

régime de l'équipement aux conditions assignées

régime assigné de l'équipement

fonctionnement de l'équipement de chauffage par induction avec des dimensions de revêtement et de billette spécifiées, une quantité de billettes spécifiée, une puissance assignée et un domaine de fréquences assigné sans que soient dépassées les valeurs maximales de la tension et du courant définies par le fournisseur

3.122

régime thermique permanent

<équipement> régime thermique dans lequel toute l'énergie fournie à l'équipement de chauffage par induction sert à compenser les pertes calorifiques

Note 1 à l'article: En régime thermique permanent, les températures de tous les éléments constitutifs de l'équipement de chauffage par induction et toutes les températures de sortie de l'eau de refroidissement sont relativement stables et n'augmentent pas.

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.36, modifié – Le terme "four" a été remplacé par "équipement de chauffage par induction" et la note a été ajoutée.]

3.123

état chaud

<équipement> régime thermique permanent de l'équipement de chauffage par induction lorsque la billette est à sa température finale

[SOURCE: IEC 60683:2011, 3.13, modifié – La définition adaptée à un équipement de chauffage par induction a été donnée avec le terme ambigu de "condition thermique" remplacé par "régime thermique permanent" et celui de "four" par "équipement de chauffage par induction".]

3.124

état froid

<équipement> état thermique dans lequel l'équipement de chauffage par induction n'est pas alimenté et où la température de l'ensemble de l'équipement est à la température ambiante

[SOURCE: IEC 60683:2011, 3.4, modifié – La définition adaptée à un équipement de chauffage par induction a été donnée.]

3.125**puissance de maintien** P_h

<équipement> puissance active délivrée au circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction, afin de maintenir la billette spécifiée à la température spécifiée pour l'homogénéité de sa température

[SOURCE: IEC 60398:2015, 3.3.2, modifié – La définition d'origine, y compris ses deux notes, a été simplifiée conformément à un équipement de chauffage par induction.]

3.126**consommation d'énergie électrique de l'équipement**

énergie électrique délivrée au circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction pendant la durée définie

Note 1 à l'article: E_{ae} est la consommation d'énergie électrique active.

Note 2 à l'article: E_{re} est consommation d'énergie électrique réactive.

[SOURCE: IEC 62076:2006, 3.42, modifié – Les termes "consommation d'énergie" et "four" ont été remplacés par "consommation d'énergie électrique" et "équipement de chauffage par induction", et "pendant la durée définie" a été ajouté.]

3.127**consommation d'énergie électrique de l'installation
consommation d'énergie électrique active** E_{ai}

énergie électrique délivrée à l'installation de chauffage par induction pendant la durée définie, y compris la consommation d'énergie électrique active de l'équipement E_{ae} et la consommation d'énergie électrique active des accessoires électriques et mécaniques de l'équipement E_{aa}

3.128**consommation d'énergie électrique spécifique de l'équipement/installation** e_e/e_i

rapport entre la consommation d'énergie électrique de l'équipement/installation E_{ae}/E_{ai} pour le chauffage de billettes spécifiées de leur température initiale θ_{bs} à la température assignée θ_{br} puis leur maintien en vue de l'homogénéité de la température, et la masse totale des billettes qualifiées parmi les billettes chauffées, pendant un cycle complet pour les installations de type à chauffage discontinu ou une période de temps définie plus importante pour les installations de type à chauffage continu et de type à chauffage par étapes

Note 1 à l'article: Pour une application de chauffage partiel, seule la masse totale des parties chauffées des billettes qualifiées est prise en compte.

[SOURCE: IEC 60398:2015, 3.2.3, modifié – Les termes "consommation énergétique" et "énergie" ont été remplacés par "consommation d'énergie électrique", la définition adaptée à trois types d'équipements/installations de chauffage par induction a été donnée avec ajout d'une note.]

3.129**productivité** g

<installation> rapport entre la masse totale des billettes qualifiées parmi les billettes chauffées pour le chauffage de billettes spécifiées de leur température initiale θ_{bs} à la température assignée θ_{br} puis leur maintien en vue de l'homogénéité de la température, et la durée d'un cycle complet pour les installations de type à chauffage discontinu ou une période de temps définie plus importante pour les installations de type à chauffage continu et de type à chauffage par étapes, pendant le cycle complet ou la période de temps définie

Note 1 à l'article: Pour une application de chauffage partiel, seule la masse totale des parties chauffées des billettes qualifiées est prise en compte.

[SOURCE: IEC 60050-841:2004, 841-22-71, modifié – La définition adaptée à trois types d'installations de chauffage par induction a été donnée avec ajout d'une note.]

3.130

efficacité du chauffage de l'équipement/installation

η_e/η_i

rapport entre l'augmentation de l'enthalpie utilisable dans les billettes qualifiées parmi les billettes chauffées et la consommation d'énergie électrique active de l'équipement E_{ae} ou la consommation d'énergie électrique active de l'installation E_{ai} pendant un cycle complet pour les installations de type à chauffage discontinu ou une période de temps définie plus importante pour les installations de type à chauffage continu et de type à chauffage par étapes

[SOURCE: IEC 60398:2015, 3.2.4, modifié – La définition adaptée à trois types d'équipements/installations de chauffage par induction a été donnée.]

4 Dispositions fondamentales relatives aux essais et conditions d'essai

L'article de l'IEC 60398:2015 s'applique, avec les exceptions suivantes.

4.3 Périmètre du système consommateur d'énergie pour les essais

Paragraphe supplémentaire:

4.3.101 Périmètre de l'installation de chauffage par induction pour les essais

La consommation d'énergie d'une installation de chauffage par induction doit également inclure:

- a) la consommation d'énergie du circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction pour le chauffage et le maintien de billettes;
- b) la consommation d'énergie du système de commande de l'installation.

La consommation d'énergie correspondante délivrée à l'installation par un service public, par exemple une station de pompage hydraulique ou pneumatique, peut être estimée selon l'usage pratique ou ignorée lorsqu'elle s'avère très faible par rapport à la consommation d'énergie globale de l'installation.

4.4 Exigences générales pour les essais

Le paragraphe de l'IEC 60398:2015 s'applique, avec le remplacement et les ajouts suivants.

Remplacement (du premier alinéa du paragraphe de l'IEC 60398:2015):

Les exigences de sécurité pertinentes de l'IEC 60519-1:—, de l'IEC 60519-3:2005 et les instructions du fabricant doivent être respectées, et les mesures de protection nécessaires doivent être prises lors des essais, afin d'assurer la sécurité.

Additions:

Les essais des installations de chauffage par induction sont divisés entre les essais à l'état froid et les essais à l'état chaud. Sauf spécification contraire, les essais à l'état chaud doivent être effectués après qualification des essais à l'état froid.

Les essais à l'état froid doivent être réalisés après fabrication ou réparation ainsi que lors de l'installation et du réglage à l'état froid. L'installation et la préparation de l'essai doivent être effectuées conformément aux instructions du fabricant. Avant l'essai, les raccordements électriques, les interrupteurs, le système de commande et certaines dimensions, etc. de l'installation doivent être examinés.

Les essais à l'état chaud doivent être réalisés avec un revêtement neuf de dimensions spécifiées et avec des matériaux selon accord établi entre le fabricant et l'utilisateur. Les exigences relatives aux billettes d'essai doivent être conformes au 6.7.101. Le procédé technologique pour le chauffage et le maintien doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Le procédé technologique comprend également le chargement, la mesure de la température et le déchargement de la billette. Lorsqu'un essai doit être réalisé à l'état chaud (voir 3.123), l'équipement de chauffage par induction doit être en fonctionnement depuis au moins 8 h (en fonction des dimensions de la billette ou selon accord entre le fabricant et l'utilisateur) au début de l'essai. S'il est mis en route avec un revêtement neuf, il doit être en fonctionnement depuis au moins 24 h au début de l'essai.

Les données électriques à déterminer à l'entrée de la ligne d'alimentation par les essais des points b), c) et e) du 8.3 se rapportent à la tension assignée U_n et à la fréquence assignée f_n . Les écarts admissibles de la tension assignée et de la fréquence assignée doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Si, au cours de l'essai, ces écarts sont dépassés, cela doit être pris en compte dans l'évaluation des essais.

Lorsque le transformateur du réseau est utilisé uniquement pour l'alimentation de l'équipement de chauffage par induction, les valeurs électriques à l'entrée de la ligne d'alimentation peuvent être déterminées à partir des valeurs correspondantes mesurées côté secondaire du transformateur en tenant compte de sa caractéristique.

Toutes les mesures doivent être effectuées en utilisant les dispositifs appropriés et en suivant avec précision les instructions d'utilisation. Les tolérances sur la précision de tous les instruments ou dispositifs de mesure (pour les valeurs électriques, les valeurs de température et de masse) doivent être établies et faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

De plus, tous les équipements composant l'installation de chauffage par induction doivent satisfaire à leurs spécifications pertinentes.

Il convient de porter attention aux différents paramètres à prendre en compte en ce qui concerne les valeurs assignées des équipements de chauffage par induction ainsi qu'aux essais destinés à les vérifier; quelle que soit la dimension de l'équipement, ses performances dépendent:

- du type de chauffage de l'équipement;
- de la conception de l'équipement et de ses inducteurs de chauffage eux-mêmes;
- du matériau, de la forme et des dimensions de la billette;
- du type et du degré d'automatisation des mécanismes de manutention de la billette;
- du type et de la fréquence de la source d'énergie servant à l'alimentation électrique de l'équipement;
- du type de système de commande et de régulation de la source d'énergie alimentant l'équipement;
- de l'aptitude de la source d'énergie alimentant l'équipement à réagir aux variations rapides de la puissance réactive.

4.6 Conditions d'environnement pendant les essais

Addition:

Les températures de l'eau de refroidissement à l'entrée et à la sortie des circuits de refroidissement, en particulier pour les inducteurs de chauffage, doivent être conformes aux instructions du fabricant. Un refroidissement excessif ou insuffisant affecte la mesure de l'efficacité énergétique.

5 Comparaison des installations ou équipements

L'article de l'IEC 60398:2015 s'applique.

6 Mesures et charges de travail

L'article de l'IEC 60398:2015 s'applique, avec les exceptions suivantes.

6.3 Mesure de la fréquence

Addition:

Pour la fréquence du réseau et la fréquence moyenne, la précision de la mesure de la fréquence doit être de la classe 1.5 ou plus.

6.4 Mesures des données électriques

6.4.1 Tension d'alimentation

Addition:

NOTE Des informations relatives aux influences de la tension d'alimentation réelle ou de ses variations sur les performances de l'installation peuvent être consultées en 8.10 de l'IEC 60398:2015.

6.4.2 Tension, courant, puissance électrique et résistance

Addition:

La précision de l'équipement pour les mesures de la tension, du courant, de la puissance et de l'énergie électrique à la fréquence moyenne doit être de la classe 2.5 ou plus.

Lorsque les formes d'onde de la tension et du courant présentent des distorsions, par exemple aux bornes d'entrée et de sortie d'un convertisseur de fréquence à semiconducteurs, il convient de prendre des précautions particulières et l'équipement de mesure utilisé doit être capable de donner la vraie valeur efficace indépendamment de la forme d'onde.

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 chauffage par induction, voir Figures AA.1 à AA.3; ils se trouvent aux bornes de sortie de l'interrupteur-sectionneur pour la mesure de la consommation d'énergie 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 et le point b) du 4.3.101).

6.7 Charge de travail

Paragraphe supplémentaire:

6.7.101 Billettes d'essai de l'installation de chauffage par induction

Des billettes réelles doivent être utilisées en tant que billettes d'essai et leur matériau, leur forme et leurs dimensions doivent être conformes aux spécifications de conception de l'installation. Les billettes d'essai sont fournies par l'utilisateur et leurs surfaces doivent être propres et sèches, et ne présenter aucun dépôt ni aucune bavure évidente, en particulier pour la détermination de l'homogénéité de la température de la billette afin de mesurer avec précision la température de surface.

7 Modélisation numérique

L'article de l'IEC 60398:2015 s'applique avec l'ajout suivant.

NOTE 101 Pour la méthode de modélisation numérique permettant de déterminer l'homogénéité de la température d'une billette, voir l'Annexe CC.

8 Liste des essais

8.1 Exigences générales

Les éléments d'essai relatifs à la sécurité et aux aspects mécaniques constituent également des parties importantes d'un ensemble complet d'essais de l'installation. Les principaux éléments d'essai relatifs à la sécurité comprennent les mesures de la résistance d'isolement, des champs électriques ou magnétiques et du courant de contact ainsi que l'essai de protection par déconnexion automatique de l'alimentation, l'essai de tension, l'essai diélectrique et l'essai d'accessibilité des parties actives, etc., les méthodes d'essai devant être conformes aux 18.6.1 à 18.6.3 et 18.7.1 à 18.7.4 de l'IEC 60519-1:—. Les principaux éléments d'essai mécaniques comprennent divers essais des mécanismes de manutention des billettes, les méthodes d'essai étant prévues conformément aux normes ISO pertinentes.

Les essais de l'installation de chauffage par induction peuvent être choisis parmi les essais répertoriés dans l'IEC 60398:2015, avec les ajouts nécessaires, selon les caractéristiques de l'installation et les besoins de l'utilisateur. Pour les éléments d'essai répertoriés ci-dessous, le présent document spécifie les méthodes d'essai qui viennent modifier ou compléter les méthodes d'essai associées de l'IEC 60398:2015 et de l'IEC 60519-1:—, selon les caractéristiques de l'installation.

8.2 Essais à l'état froid

Les essais à l'état froid suivants sont liés à la sécurité (voir Annexe DD):

- a) essai de tenue diélectrique des inducteurs de chauffage (voir Article DD.1);
- b) essai de tenue à la pression des circuits de refroidissement par eau (voir Article DD.2);
- c) essai de débit des circuits de refroidissement par eau (voir Article DD.3).

8.3 Essais à l'état chaud

Les essais à l'état chaud suivants sont facultatifs et peuvent être choisis selon les exigences pour la caractérisation et l'évaluation d'une installation de chauffage par induction:

- a) mesure de l'élévation de température de l'eau de refroidissement (voir 9.101);
- b) détermination de la puissance et du facteur de puissance du circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction (voir 9.102);
- c) détermination de la puissance de maintien (voir 9.103);

- d) détermination de l'homogénéité de la température de la billette (voir 9.104);
- e) détermination de la consommation d'énergie électrique spécifique et de la productivité (voir 9.105);
- f) détermination de l'efficacité du chauffage de l'équipement/installation (voir 9.106);
- g) mesure de la température des composants structurels soumis à la chaleur (voir 9.107).

9 Essais techniques et rendement de l'installation

NOTE Le présent article correspond aux Articles 8 et 9 de l'IEC 60398:2015.

Les parties pertinentes des Articles 8 et 9 de l'IEC 60398:2015 s'appliquent, avec l'exception suivante.

Paragraphes supplémentaires:

9.101 Mesure de l'élévation de température de l'eau de refroidissement

Cet essai doit être réalisé à l'état chaud (voir 3.123 et 4.4) de l'équipement de chauffage par induction en fonctionnement au régime assigné de l'équipement (voir 3.121), avec le débit spécifié par le fabricant, à la fin de l'essai défini en 9.6. La température de l'eau de refroidissement doit être mesurée au moyen de thermomètres ou surveillée par des capteurs disposés à l'entrée et à la sortie des circuits de refroidissement par eau de l'équipement. La différence entre les températures à l'entrée et à la sortie correspond à la valeur de l'élévation de température de l'eau de refroidissement. Au cours de l'essai, la température de sortie et l'élévation de température doivent se situer dans les limites spécifiées par le fabricant.

Il est recommandé d'effectuer plusieurs relevés, par exemple toutes les 5 min vers la fin de la durée d'essai indiquée en 9.6, pour s'assurer que l'équipement a atteint un régime thermique stable à l'état chaud.

9.102 Détermination de la puissance d'entrée P et du facteur de puissance λ du circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction

La puissance active P doit être mesurée et la puissance apparente S peut être déterminée à partir des mesures du courant I et de la tension U en régime assigné (voir 3.121) et à l'état chaud (voir 3.123 et 4.4) de l'équipement de chauffage par induction (voir Figure AA.1). Le facteur de puissance λ peut être calculé comme le rapport entre la puissance active à la puissance apparente.

Un faible taux d'harmoniques de tension et/ou de courant n'altère pas le résultat de l'essai de manière significative; dans ces conditions, le facteur de puissance λ devient pratiquement égal au $\cos \phi$ mesuré au moyen d'un $\cos \phi$ -mètre. En cas d'alimentation triphasée, il convient de s'assurer que, pendant ces mesures, les courants sur les trois phases ne présentent pas de déséquilibre notable. A titre de ligne directrice, il convient de considérer que cette exigence est respectée lorsque l'écart entre les valeurs des courants et leur valeur moyenne ne dépasse pas $\pm 10\%$. Lorsque le déséquilibre entre les trois phases dépasse $\pm 10\%$, il convient d'utiliser une méthode appropriée donnant des résultats plus précis.

Du fait que les puissances active et réactive demeurent relativement constantes pendant cet essai, la puissance active peut également être déterminée à partir de l'énergie active (mesurée par un compteur d'énergie) consommée pendant une durée donnée et divisée par la durée de cette durée. De même, le facteur de puissance λ peut être déterminé en mesurant, au moyen de compteurs d'énergie appropriés, les énergies active et réactive consommées durant la même période.

9.103 Détermination de la puissance de maintien P_h

L'essai doit être réalisé après fonctionnement normal de l'équipement de chauffage par induction contenant la billette spécifiée pendant une durée suffisante, afin de s'assurer qu'il

est bien à l'état chaud (voir 3.123 et 4.4). La mesure doit être effectuée sur une durée donnée au cours de la dernière étape de l'opération de maintien de la billette. La température de la billette doit être surveillée afin de garder la température finale de la billette aussi constante que possible tout au long de la période.

Pour les équipements de type à chauffage discontinu et de type à chauffage continu ne disposant que d'un seul inducteur de chauffage, la consommation électrique de maintien est mesurée directement à l'entrée du circuit de puissance (voir Figure AA.1).

Pour les équipements de type à chauffage continu et de type à chauffage par étapes disposant de plusieurs inducteurs de chauffage, l'un d'eux étant spécialement destiné au maintien de la billette:

- la consommation électrique de maintien est mesurée à l'entrée du circuit de puissance qui n'alimente en énergie électrique que l'inducteur de puissance destiné au maintien;
- ou dans le cas où les inducteurs de chauffage destinés au chauffage et au maintien sont alimentés par le même transformateur redresseur (voir Figure AA.2), la consommation électrique de maintien correspond à la consommation d'énergie électrique E_{sfch} mesurée à l'entrée du convertisseur de fréquence qui n'alimente en énergie électrique que le circuit compensé comprenant l'inducteur de puissance destiné au maintien, divisée par l'efficacité du transformateur redresseur η_{rt} ;
- ou dans le cas où les inducteurs de chauffage destinés au chauffage et au maintien sont alimentés par le même redresseur (voir Figure AA.3), mesurer la puissance d'entrée en courant continu P_{sih} de l'onduleur de type en série qui n'alimente en énergie électrique que le circuit compensé comprenant l'inducteur de puissance destiné au maintien, à un moment de la durée susmentionnée où la puissance est plus stable.

La puissance de maintien est calculée en divisant la consommation électrique de maintien mesurée au cours de la durée susmentionnée par la durée de cette période, ou en divisant P_{sih} susmentionnée par l'efficacité du transformateur redresseur η_{rt} et l'efficacité du redresseur η_r .

Pour d'autres sources d'énergie de structure différente, la détermination de la puissance de maintien peut être effectuée en se référant aux méthodes d'essai susmentionnées.

9.104 Détermination de l'homogénéité de la température de la billette $\Delta\theta_b$

Voir Annexe CC.

9.105 Détermination de la consommation d'énergie électrique spécifique e_e/e_i et de la productivité g

Sauf disposition contraire, la détermination de la consommation d'énergie électrique spécifique e_e/e_i et de la productivité g est effectuée sur le site de l'utilisateur.

La mesure doit être réalisée après fonctionnement normal de l'équipement de chauffage par induction pendant une durée suffisante, afin de s'assurer qu'il est bien à l'état chaud (voir 3.123 et 4.4). En ce qui concerne le périmètre de l'installation de chauffage par induction pour les essais, voir 4.3.101. Concernant les emplacements de mesure des consommations d'énergie électrique du circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction et de ses accessoires électriques et mécaniques, voir 6.4.3. En outre, la température initiale de la billette doit être mesurée et la température de la billette avant son extraction doit être surveillée.

Les spécifications complémentaires relatives aux différents types de chauffage des installations sont les suivantes:

- a) Installation de type à chauffage discontinu

Au moins trois cycles de fonctionnement successifs doivent être réalisés. La consommation d'énergie électrique active de l'équipement E_{ae} et les consommations d'énergie électrique active des accessoires électriques et mécaniques de l'équipement E_{aa} ainsi que la masse de la billette d'essai G_{test} sont mesurées au cours de chaque cycle de fonctionnement (y compris le chargement, le chauffage, le maintien et le déchargement de la billette).

La consommation d'énergie électrique spécifique de l'installation e_i est calculée en divisant E_{ae} et E_{aa} par G_{test} . La consommation d'énergie électrique spécifique de l'équipement e_e est calculée en divisant E_{ae} par G_{test} . La productivité g est calculée en divisant G_{test} par la durée du cycle de fonctionnement. Prendre la moyenne des valeurs mesurées au cours des différents cycles de fonctionnement susmentionnés comme résultat de la détermination.

b) Installations de type à chauffage continu et de type à chauffage par étapes

E_{ae} , E_{aa} et G_{test} sont mesurées pendant une durée définie plus importante en fonctionnement continu de l'équipement. La durée de la période définie ne doit pas être inférieure à 4 h à approximativement 8 h, en fonction des dimensions de la billette, ou fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

Les calculs de la consommation d'énergie électrique spécifique de l'équipement/installation e_e/e_i sont les mêmes qu'en a) ci-dessus. La productivité g est calculée en divisant G_{test} par la durée de la période définie.

Pour une application de chauffage partiel, la masse totale des parties chauffées des billettes qualifiées doit être prise en compte dans le calcul susmentionné.

9.106 Détermination de l'efficacité du chauffage de l'équipement/installation η_e/η_i

L'efficacité du chauffage de l'équipement/installation de chauffage par induction peut être calculée à l'aide des valeurs de e_e et e_i mesurées en 9.105 comme suit:

$$\eta_e = e_{min} / e_e \quad (1)$$

$$\eta_i = e_{min} / e_i \quad (2)$$

$$e_{min} = 0,278 \, c_p(T) \times \Delta T \quad (3)$$

où

η_e	est l'efficacité du chauffage de l'équipement de chauffage par induction, en %;
η_i	est l'efficacité du chauffage de l'installation de chauffage par induction, en %;
e_{min}	est la consommation d'énergie électrique spécifique minimale théorique de la billette, en kW·h/t;
e_e	est la consommation d'énergie électrique spécifique de l'équipement de chauffage par induction, en kW·h/t;
e_i	est la consommation d'énergie électrique spécifique de l'installation de chauffage par induction, en kW·h/t;
$c_p(T)$	est la chaleur spécifique de la billette, en kJ/kg°C, la non-linéarité possible de ses caractéristiques par rapport à la température et toute variation brusque en un point donné devant être prises en compte;
ΔT	est la variation de la température de la billette entre sa température initiale et sa température finale, en °C.

L'efficacité du chauffage incluant les billettes non qualifiées peut également être calculée si nécessaire.

9.107 Mesure de la température des composants structurels soumis à la chaleur

Cet essai doit être réalisé à l'état chaud (voir 3.123 et 4.4) de l'équipement de chauffage par induction en fonctionnement aux conditions assignées, par exemple immédiatement après l'essai défini en 9.105.

Les points de mesure de la température de surface sont spécifiés comme suit:

- a) points arbitraires sur les surfaces des plaques d'extrémité pour la fixation de la bobine inductrice et la surface du cadre de support ou de la baie de l'inducteur de chauffage;
- b) points arbitraires sur les surfaces des bornes de raccordement de la bobine inductrice ainsi que sur les surfaces des jeux de barres à courant fort et les surfaces de leurs bornes de raccordement.

En ce qui concerne les plaques d'extrémité pour la fixation de la bobine inductrice, leur surface adjacente à l'accès de la bobine inductrice n'entre pas dans la plage de mesure.

La température de surface doit être mesurée au moyen d'un couple thermoélectrique de contact, d'un thermomètre ou d'un capteur équivalent, avec une précision de classe 2.5 ou plus.

Annexe A
(informative)

Evaluation de l'efficacité énergétique

L'Annexe A de l'IEC 60398:2015 s'applique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annexe B
(informative)

Représentation visuelle des informations d'efficacité énergétique

L'Annexe B de l'IEC 60398:2015 s'applique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annexe C
(informative)

Estimation de l'utilisation d'énergie

L'Annexe C de l'IEC 60398:2015 s'applique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

Annexe D
(informative)

Récupérabilité énergétique

L'Annexe D de l'IEC 60398:2015 s'applique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63078:2019

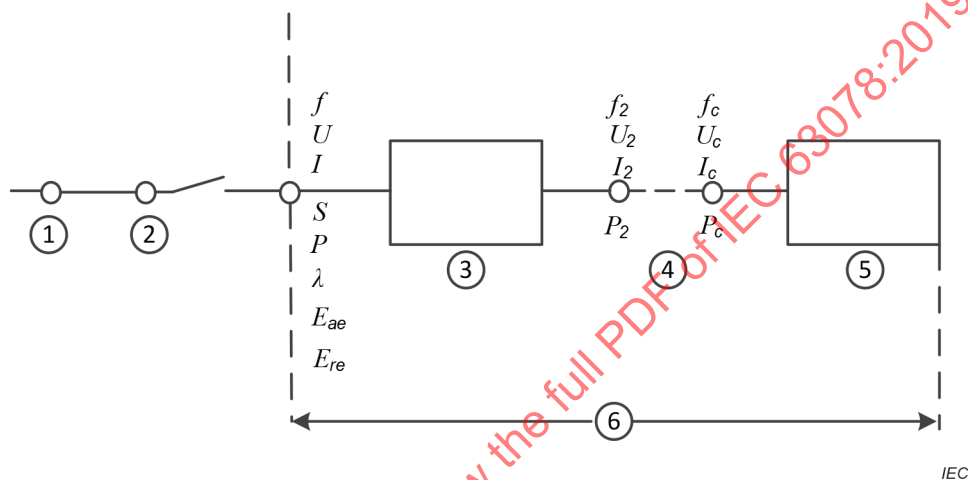
Annexe AA (normative)

Schémas explicatifs pour les symboles et définitions relatifs au circuit de puissance d'un équipement de chauffage par induction

AA.1 Circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction

Voir Figures AA.1 à AA.3.

NOTE Pour la liste des symboles, voir Annexe BB.



Légende

- 1 ligne d'alimentation
- 2 interrupteur-sectionneur
- 3 source d'énergie
- 4 jeux de barres, câbles souples de raccordement (impédances actives et/ou réactives)
- 5 circuit compensé/charge
- 6 circuit de puissance de l'équipement de chauffage par induction

Après l'interrupteur-sectionneur, plusieurs circuits de puissance peuvent être connectés en parallèle, comprenant ③, ④ et ⑤ et pouvant présenter des paramètres de fonctionnement similaires ou différents. Une source d'énergie peut parfois alimenter plusieurs circuits compensés/charges, qui peuvent présenter des paramètres de fonctionnement et une structure similaires ou différents (voir Figure AA.2 et Figure AA.3).

Figure AA.1 – Circuit de puissance de base de l'équipement de chauffage par induction