

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Rotating electrical machines –
Part 1: Rating and performance**

**Machines électriques tournantes –
Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 Secretariat
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.



IEC 60034-1

Edition 14.0 2022-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Rotating electrical machines –
Part 1: Rating and performance**

**Machines électriques tournantes –
Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.160.01

ISBN 978-2-8322-1076-8

**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	7
1 Scope	10
2 Normative references	10
3 Terms and definitions	12
4 Duty	17
4.1 Declaration of duty	17
4.2 Duty types	18
4.2.1 Duty type S1 – Continuous running duty	18
4.2.2 Duty type S2 – Short-time duty	19
4.2.3 Duty type S3 – Intermittent periodic duty	20
4.2.4 Duty type S4 – Intermittent periodic duty with starting	21
4.2.5 Duty type S5 – Intermittent periodic duty with electric braking	22
4.2.6 Duty type S6 – Continuous operation periodic duty	24
4.2.7 Duty type S7 – Continuous operation periodic duty with electric braking	25
4.2.8 Duty type S8 – Continuous operation periodic duty with related load/speed changes	26
4.2.9 Duty type S9 – Duty with non-periodic load and speed variations	27
4.2.10 Duty type S10 – Duty with discrete constant loads and speeds	28
5 Rating	31
5.1 Assignment of rating	31
5.2 Classes of rating	31
5.2.1 Rating for continuous running duty	31
5.2.2 Rating for short-time duty	31
5.2.3 Rating for periodic duty	31
5.2.4 Rating for non-periodic duty	31
5.2.5 Rating for duty with discrete constant loads and speeds	32
5.2.6 Rating for equivalent loading	32
5.3 Selection of a class of rating	32
5.4 Allocation of outputs to class of rating	32
5.5 Rated output	33
5.5.1 DC generators	33
5.5.2 AC generators	33
5.5.3 Motors	33
5.5.4 Synchronous compensators	33
5.6 Rated voltage	33
5.6.1 DC generators	33
5.6.2 AC generators	33
5.6.3 AC motors	33
5.7 Preferred combinations of voltages and outputs	33
5.8 Machines with more than one rating	34
6 Site conditions	34
6.1 General	34
6.2 Altitude	34
6.3 Maximum ambient air temperature	34
6.4 Minimum ambient air temperature	34
6.5 Water coolant temperature	35

6.6	Standstill, storage and transport	35
6.7	Purity of hydrogen coolant	35
7	Electrical operating conditions	35
7.1	Electrical supply.....	35
7.2	Form and symmetry of voltages and currents	36
7.2.1	AC motors	36
7.2.2	AC generators	37
7.2.3	Synchronous machines.....	37
7.2.4	DC motors supplied from static power converters	38
7.3	Voltage during starting of AC motors.....	39
7.4	Voltage and frequency variations during operation	39
7.5	Three-phase AC machines operating on unearthed systems	41
7.6	Voltage (peak and gradient) withstand levels	42
8	Thermal performance and tests	42
8.1	Thermal class	42
8.2	Reference coolant.....	42
8.3	Conditions for thermal tests	43
8.3.1	Electrical supply	43
8.3.2	Temperature of machine before test	43
8.3.3	Temperature of coolant.....	44
8.3.4	Measurement of coolant temperature during test	44
8.4	Temperature rise of a part of a machine.....	44
8.5	Methods of measurement of temperature	45
8.5.1	General	45
8.5.2	Resistance method	45
8.5.3	Embedded temperature detector (ETD) method	45
8.5.4	Thermometer method.....	45
8.6	Determination of winding temperature	45
8.6.1	Choice of method	45
8.6.2	Determination by resistance method	46
8.6.3	Determination by ETD method	48
8.6.4	Determination by thermometer method	48
8.7	Duration of thermal tests	48
8.7.1	Rating for continuous running duty	48
8.7.2	Rating for short-time duty	49
8.7.3	Rating for periodic duty.....	49
8.7.4	Ratings for non-periodic duty and for duty with discrete constant loads	49
8.8	Determination of the thermal equivalent time constant for machines of duty type S9.....	49
8.9	Measurement of bearing temperature.....	49
8.10	Limits of temperature and of temperature rise	50
8.10.1	General	50
8.10.2	Indirect cooled windings	50
8.10.3	Direct cooled windings.....	54
8.10.4	Adjustments to take account of hydrogen purity on test	55
8.10.5	Permanently short-circuited windings, magnetic cores and all structural components (other than bearings) whether or not in contact with insulation.....	55
8.10.6	Commutators and sliprings, open or enclosed and their brushes and brushgear	55

9	Other performance and tests	57
9.1	Routine tests.....	57
9.2	Withstand voltage test.....	58
9.3	Occasional excess current	62
9.3.1	General	62
9.3.2	Generators	62
9.3.3	Motors (except commutator motors and permanent magnet motors)	62
9.3.4	Commutator machines	62
9.4	Momentary excess torque for motors	62
9.4.1	Polyphase induction motors and DC motors.....	62
9.4.2	Polyphase synchronous motors	63
9.4.3	Other motors	63
9.5	Pull-up torque and locked-rotor torque for cage induction motors with direct online starting	63
9.6	Safe operating speed of cage induction motors	63
9.7	Overspeed	64
9.8	Short-circuit current for synchronous machines.....	65
9.9	Short-circuit withstand test for synchronous machines	65
9.10	Commutation test for commutator machines.....	66
9.11	Total harmonic distortion (<i>THD</i>) for synchronous machines	66
9.11.1	General	66
9.11.2	Limits	66
9.11.3	Tests	66
9.12	Protective earth test.....	66
9.13	Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation	67
9.14	Shaft-voltage test.....	68
10	Information requirements	68
10.1	General.....	68
10.2	Product documentation	68
10.3	Rating plate	68
10.4	Information content.....	69
10.4.1	General	69
10.4.2	Minimum information requirements	69
10.4.3	All AC machines	70
10.4.4	All DC machines	70
10.4.5	Machines over 5 kW (or 5 kVA) rated output.....	70
10.4.6	Optional information	70
11	Miscellaneous requirements	71
11.1	Protective earthing of machines	71
11.2	Shaft-end key(s)	72
12	Tolerances	72
12.1	General.....	72
12.2	Tolerances on values of quantities.....	73
13	Electromagnetic compatibility (EMC)	74
13.1	General.....	74
13.2	Immunity.....	75
13.2.1	Machines not incorporating electronic circuits.....	75
13.2.2	Machines incorporating electronic circuits.....	75

13.3	Emission	75
13.4	Immunity tests	75
13.5	Emission measurements	75
14	Application requirements	75
Annex A (informative) Guidance for the application of duty type S10 and for establishing the value of relative thermal life expectancy TL		77
Annex B (informative) Electromagnetic compatibility (EMC) limits		78
Bibliography		79
Figure 1	– Continuous running duty – Duty type S1	19
Figure 2	– Short-time duty – Duty type S2	20
Figure 3	– Intermittent periodic duty – Duty type S3	21
Figure 4	– Intermittent periodic duty with starting – Duty type S4	22
Figure 5	– Intermittent periodic duty with electric braking – Duty type S5	23
Figure 6	– Continuous operation periodic duty – Duty type S6	24
Figure 7	– Continuous operation periodic duty with electric braking – Duty type S7	25
Figure 8	– Continuous operation periodic duty with related load/speed changes – Duty type S8	27
Figure 9	– Duty with non-periodic load and speed variations – Duty type S9	28
Figure 10	– Duty with discrete constant loads – Duty type S10	30
Figure 11	– Voltage and frequency limits for motors and for generators except generators or synchronous compensators within the scope of IEC 60034-3 and hydro generators within the scope of IEC 60034-33	41
Figure 12	– Worst case increase in temperature rise ($\Delta\theta$) and recommended reduction of output power (ΔP) of motors as a function of the combined change of voltage and frequency $ \Delta\phi $ (indicative guideline to users of motors and generators only)	41
Figure 13	– Factor K for determining $R_{PE,M}$	67
Table 1	– Preferred voltage ratings	34
Table 2	– Unbalanced operating conditions for synchronous machines	38
Table 3	– CCC symbol designation	39
Table 4	– Primary functions of machines	40
Table 5	– Reference coolant (see also Table 11)	43
Table 6	– Time interval	47
Table 7	– Measuring points	49
Table 8	– Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by air	51
Table 9	– Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by hydrogen	52
Table 10	– Adjustments to limits of temperature rise at the operating site of indirect cooled windings to take account of non-reference operating conditions and ratings	53
Table 11	– Assumed maximum ambient temperature	54
Table 12	– Adjusted limits of temperature rise at the test site ($\Delta\theta_T$) for windings indirectly cooled by air to take account of test site operating conditions	55
Table 13	– Limits of temperature of directly cooled windings and their coolants	56
Table 14	– Adjustments to limits of temperature at the operating site for windings directly cooled by air or hydrogen to take account of non-reference operating conditions and ratings	56

Table 15 – Adjusted limits of temperature at the test site θ_T for windings directly cooled by air to take account of test site operating conditions	57
Table 16 – Minimum routine tests for machines assembled and tested in the factory of the manufacturer.....	58
Table 17 – Withstand voltage tests	60
Table 18 – Test voltage factors for machines with an assigned Impulse Voltage Insulation Class (IVIC) according to IEC 60034-18-41 and IEC 60034-18-42.....	61
Table 19 – Maximum safe operating speed (min^{-1}) of three-phase single-speed cage induction motors for voltages up to and including 1 000 V	64
Table 20 – Overspeeds	65
Table 21 – Cross-sectional areas of earthing conductors	72
Table 22 – Schedule of tolerances on values of quantities	73
Table B.1 – Electromagnetic emission limits per CISPR 11 Class B Group 1.....	78
Table B.2 – Electromagnetic emission limits per CISPR 11 Class A Group 1.....	78

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –**Part 1: Rating and performance****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.

IEC 60034-1 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery. It is an International Standard.

This fourteenth edition cancels and replaces the thirteenth edition published in 2017. This edition constitutes a technical revision.

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

Clause or subclause	Change
1	Clarification of the scope
2	General use of dated references
3.29	Clarification on identification of maximum and minimum current
3.34	Definition of main insulation
3.35	Definition of converter capable machine
3.36	Definition of converter duty machine
3.37	Definition of shaft voltage
4.2	Explanation for using duty types S9 and S10 for converter duty machines
5.6.3	New subclause for clarification of the terms range of rated voltages and voltage variations
6.2	Requirement to consider reduced arcing distance in machine design for altitudes >1 000 m
7.1	Clarification on bus transfer or fast reclosing Clarification on the capability to withstand impulse voltages
7.3	New subclause on voltage deviation during starting
7.4	Extended variation of supply frequency Note added on design for operation with extended voltage and frequency Recommended derating added for high variations of voltage and frequency
7.6	Clarification that enamelled wires are no bare living material
8.3.1	Clarification on electrical supply during thermal tests added
9.1	Changes in Table 16, especially inclusion of PM and reluctance synchronous machines
9.2	Requirement on test equipment for withstand voltage test added Test voltage for variable speed AC machines added Clarification to withstand voltage test for machines after stock holding
9.5	Extended to requirements on minimum locked rotor torque
9.10	Note added on criteria for commutation test
9.11.3	Clarification added that synchronous motors do not need a THD test
9.12	New subclause on protective earth test
9.13	New subclause on measurement of insulation resistance and polarization index
9.14	New subclause on shaft-voltage measurement
10.	Clause has been rearranged completely Clarification on unit symbol for speed added
11.1	Clarification on protective earth test after installation added
12.1	Clarification on the tolerances due to the accuracy of the test equipment Note on measurement uncertainty added
12.2	Change in the tolerance on efficiency Clarification on the tolerance on locked-rotor current New tolerance on sound pressure level
14	Improved title of clause

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

Draft	Report on voting
2/2084/FDIS	2/2090/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts of the IEC 60034 series, published under the general title *Rotating electrical machines*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under 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.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 1: Rating and performance

1 Scope

This part of IEC 60034 is applicable to all rotating electrical machines, except rotating electrical machines for rail and road vehicles, which are covered by the IEC 60349 series of standards.

Machines within the scope of this document may also be subject to superseding, modifying or additional requirements in other standards, for example, IEC 60079 and IEC 60092.

NOTE If particular clauses of this document are modified to meet special applications, for example machines subject to radioactivity or machines for aerospace, all other clauses apply insofar as they are compatible.

2 Normative references

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

IEC 60027-1:1992, *Letters symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*
IEC 60027-1:1992/AMD1:1997
IEC 60027-1:1992/AMD2:2005

IEC 60027-4:2006, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 4: Rotating electric machines*

IEC 60034-2 (all parts), *Rotating electrical machines – Part 2: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

IEC 60034-3:2020, *Rotating electrical machines – Part 3: Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines and for synchronous compensators*

IEC 60034-5:2020, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*

IEC 60034-6:1991, *Rotating electrical machines – Part 6: Methods of cooling (IC code)*

IEC 60034-8:2007, *Rotating electrical machines – Part 8: Terminal markings and direction of rotation*
IEC 60034-8:2007/AMD1:2014

IEC 60034-12:2016, *Rotating electrical machines – Part 12: Starting performance of single-speed three-phase cage induction motors*

IEC 60034-15:2009, *Rotating electrical machines – Part 15: Impulse voltage withstand levels of form-wound stator coils for rotating a.c. machines*

IEC 60034-18 (all parts), *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems*

IEC 60034-18-41:2014, *Rotating electrical machines – Part 18-41: Partial discharge free electrical insulation systems (Type I) used in rotating electrical machines fed from voltage converters – Qualification and quality control tests*
IEC 60034-18-41:2014/AMD1:2019

IEC 60034-18-42:2017, *Rotating electrical machines – Part 18-42: Partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters – Qualification tests*
IEC 60034-18-42:2017/AMD1:2020

IEC 60034-19:2014, *Rotating electrical machines – Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and rectifier-fed supplies*

IEC TS 60034-25:2014, *Rotating electrical machines – Part 25: AC electrical machines used in power drive systems – Application guide*

IEC 60034-27-4, *Rotating electrical machines – Part 27-4: Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60034-29:2008, *Rotating electrical machines – Part 29: Equivalent loading and superposition techniques – Indirect testing to determine temperature rise*

IEC 60034-30-1:2014, *Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE-code)*

IEC TS 60034-30-2, *Rotating electrical machines – Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)*

IEC 60034-33: *Rotating electrical machines – Part 33: Specific technical requirements for hydro generators*

IEC 60050-411:1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 411: Rotating machinery*
IEC 60050-411:1996/AMD1:2007
IEC 60050-411:1996/AMD2:2021

IEC 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60204-1:2016, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60204-11:2018, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for equipment for voltages above 1 000 V AC or 1 500 V DC and not exceeding 36 kV*

IEC 60335-1:2020, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment – 12-month subscription to regularly updated online database comprising all graphical symbols published in IEC 60417*

IEC 60445:2017, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors*

IEC 60664-1:2020, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61148:2011, *Terminal markings for valve device stacks and assemblies and for power conversion equipment*

IEC TS 61800-8, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface*

CISPR 11:2015, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

CISPR 11:2015/AMD1:2016

CISPR 11:2015/AMD2:2019

CISPR 14 (all parts), *Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus*

CISPR 16 (all parts), *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions in IEC 60050-411, and the following apply.

NOTE 1 For definitions concerning cooling and coolants, other than those in 3.17 to 3.22, see IEC 60034-6.

NOTE 2 For the purposes of this document, the term ‘agreement’ means ‘agreement between the manufacturer and purchaser’.

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>

3.1

rated value

quantity value assigned, generally by a manufacturer, for a specified operating condition of a machine

Note 1 to entry: The rated voltage or voltage range is the rated voltage or voltage range between lines at the terminals.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-23]

3.2

rating

set of rated values and operating conditions

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-24]

3.3

rated output

value of the output included in the rating

**3.4
load**

all the values of the, *in case of a generator*, electrical and, *in case of a motor*, mechanical quantities that signify the demand made on a rotating machine by an electrical circuit or a mechanism at a given instant

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-01, modified:modification indicated in italics.]

**3.5
no-load (operation)**

state of a machine rotating with zero output power (*but under otherwise normal operating conditions*)

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-02, modified: modification indicated in italics.]

**3.6
full load**

load which causes a machine to operate at its rating

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-10]

**3.7
full load value**

quantity value for a machine operating at full load

Note 1 to entry: This concept applies to power, torque, current, speed, etc.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-11]

**3.8
rest and de-energized**

complete absence of all movement and of all electrical supply or mechanical drive

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-03]

**3.9
duty**

statement of the load(s) to which the machine is subjected, including, if applicable, starting, electric braking, no-load and rest and de-energized periods, and including their durations and sequence in time

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-06]

**3.10
duty type**

continuous, short-time or periodic duty, comprising one or more loads remaining constant for the duration specified, or a non-periodic duty in which generally load and speed vary within the permissible operating range

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-13]

**3.11
cyclic duration factor**

ratio between the period of loading, including starting and electric braking, and the duration of the duty cycle, expressed as a percentage

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-09]

3.12**locked-rotor torque**

minimum measured torque the motor develops at its shaft and with the rotor locked, over all its angular positions, at rated voltage and frequency

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-48-06]

3.13**locked-rotor current**

greatest steady-state r.m.s. current taken from the line with the rotor locked, over all angular positions of its rotor, at rated voltage and frequency

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-48-16]

3.14**pull-up torque <of an AC motor>**

minimum steady-state asynchronous torque which the motor develops between zero speed and the speed which corresponds to the breakdown torque, when the motor is supplied at the rated voltage and frequency

Note 1 to entry: This definition does not apply to those asynchronous motors of which the torque continually decreases with increase in speed.

Note 2 to entry: In addition to the steady-state asynchronous torques, harmonic synchronous torques, which are a function of rotor load angle, will be present at specific speeds.

At such speeds, the accelerating torque may be negative for some rotor load angles.

Experience and calculation show this to be an unstable operating condition, and therefore, harmonic synchronous torques do not prevent motor acceleration, and are excluded from this definition.

3.15**breakdown torque <of an AC motor>**

maximum steady-state asynchronous torque which the motor develops without an abrupt drop in speed, when the motor is supplied at the rated voltage and frequency

Note 1 to entry: This definition does not apply to motors with torques that continually decrease with increase in speed.

3.16**pull-out torque <of a synchronous motor>**

maximum torque which the synchronous motor develops at synchronous speed with rated voltage, frequency and field current

3.17**cooling**

procedure by means of which heat resulting from losses occurring in a machine is given up to a primary coolant, which may be continuously replaced or may itself be cooled by a secondary coolant in a heat exchanger

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-01]

3.18**coolant**

medium, liquid or gas, by means of which heat is transferred

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-02]

3.19**primary coolant**

medium, liquid or gas, which, being at a lower temperature than a part of a machine and in contact with it, removes heat from that part

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-03]

3.20**secondary coolant**

medium, liquid or gas, which, being at a lower temperature than the primary coolant, removes the heat given up by this primary coolant by means of a heat exchanger or through the external surface of the machine

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-04]

3.21**direct cooled winding****inner cooled winding**

winding mainly cooled by coolant flowing in direct contact with the cooled part through hollow conductors, tubes, ducts or channels which, regardless of their orientation, form an integral part of the winding inside the main insulation

Note 1 to entry: In all cases when 'indirect' or 'direct' is not stated, an indirect cooled winding is implied.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-08]

3.22**indirect cooled winding**

any winding other than a direct cooled winding

Note 1 to entry: In all cases when 'indirect' or 'direct' is not stated, an indirect cooled winding is implied.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-09]

3.23**supplementary insulation**

independent insulation applied in addition to the main insulation in order to ensure protection against electric shock in the event of failure of the main insulation

3.24**moment of inertia**

sum (integral) of the products of the mass elements of a body and the squares of their distances (radii) from a given axis

3.25**thermal equilibrium**

state reached when the temperature rises of the several parts of the machine do not vary by more than a gradient of *1 K per half hour*

Note 1 to entry: Thermal equilibrium may be determined from the time-temperature rise plot when the straight lines between points at the beginning and end of two successive intervals of half hour each have a gradient of 1 K or less per half hour or 2 K or less per hour.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-08, modified: modification indicated in italics.]

3.26**thermal equivalent time constant**

time constant, replacing several individual time constants, which determines approximately the temperature course in a winding after a step-wise current change

3.27**encapsulated winding**

winding which is completely enclosed or sealed by moulded insulation

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-39-06]

3.28**rated form factor of direct current supplied to a DC motor armature from a static power converter**

ratio of the r.m.s. maximum permissible value of the current $I_{\text{rms,maxN}}$ to its average value I_{avN} (mean value integrated over one period) at rated conditions:

$$k_{\text{fN}} = \frac{I_{\text{rms,maxN}}}{I_{\text{avN}}}$$

3.29**current ripple factor**

ratio of the difference between the maximum value I_{max} and the minimum value I_{min} of an undulating current to two times the average value I_{av} (mean value integrated over one period):

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2 \times I_{\text{av}}}$$

Note 1 to entry: For small values of current ripple, the ripple factor may be approximated by the following formula:

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

Note 2 to entry: The above formula may be used as an approximation if the resulting calculated value of q_i is equal to or less than 0,4.

The basis for determining this variation should be by oscillograph measurement (or a comparable device) and not by ammeter readings. A line should be drawn on the oscillogram through the consecutive peaks of the current wave. This line is the envelope of the current wave. The variation is the difference between the maximum (I_{max}) and minimum (I_{min}) ordinates of this envelope.

3.30**tolerance**

permitted deviation between the declared value of a quantity and the measured value

3.31**type test**

test of one or more machines made to a certain design to show that the design meets certain specifications

Note 1 to entry: The type test may also be considered valid if it is made on a machine which has minor deviations of rating or other characteristics. These deviations should be subject to agreement.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-01]

3.32**routine test**

test to which each individual machine is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-02]

3.33**runaway speed**

maximum speed attained by the motor-generator set after removal of the full load of the generator if the speed regulator does not function

Note 1 to entry: The motor can be also a turbine or an internal combustion engine.

Note 2 to entry: For motors, the maximum overspeed at loss of supply is meant that a motor might reach driven by the coupled equipment

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-17-23]

3.34**main insulation**

basic insulation (see IEC 60664-1) of a rotating electrical machine

3.35**converter capable machine**

electrical machine designed for direct online start and suitable for operation on a power electronic frequency converter without special filtering

Note 1 to entry: Such motors include but are not limited to IEC Design N, NE, H, or HE, or NEMA Design A, B, or C which may be subject to energy efficiency regulation in the EU, North America or other locations.

Note 2 to entry: The intent of the converter capable motor is to run within the thermal class of the insulation system; but as the harmonic content of the converter output voltage varies between different drive topologies, coordination with the manufacturer may be required by the end user.

Note 3 to entry: See IEC TS 60034-25 for performance variations of all characteristics such as efficiency and acoustic noise when operating a converter capable motor on a frequency converter.

3.36**converter duty machine**

electrical machine designed specifically for operation fed by a power electronic frequency converter with a temperature rise within the specified insulation thermal class or thermal class.

Note 1 to entry: Such motors have no IEC Design or NEMA Design letter and may be exempted from energy efficiency regulation in the EU, North America and other locations.

3.37**shaft voltage**

voltage of mainly supply frequency measured between the shaft ends of an electrical machine, which may occur due to magnetic asymmetries

Note 1 to entry: For more information on the root cause of the shaft voltage, see IEC TS 60034-24:2009, 5.5 and Clause 6.

Note 2 to entry: The shaft voltage of (mainly) supply frequency should not be mixed-up with the HF shaft voltage which can be caused in converter-fed machines by a high frequency (HF) common mode current impulse.

4 Duty**4.1 Declaration of duty**

It is the responsibility of the purchaser to declare the duty. The purchaser may describe the duty by one of the following:

- a) numerically, where the load does not vary or where it varies in a known manner;
- b) as a time sequence graph of the variable quantities;
- c) by selecting one of the duty types S1 to S10 that is no less onerous than the expected duty.

The duty type shall be designated by the appropriate abbreviation, specified in 4.2, written after the value of the load.

An expression for the cyclic duration factor is given in the relevant duty type figure.

The purchaser normally cannot provide values for the moment of inertia of the machine (J_M) or the relative thermal life expectancy (TL), see Annex A. These values are provided by the manufacturer.

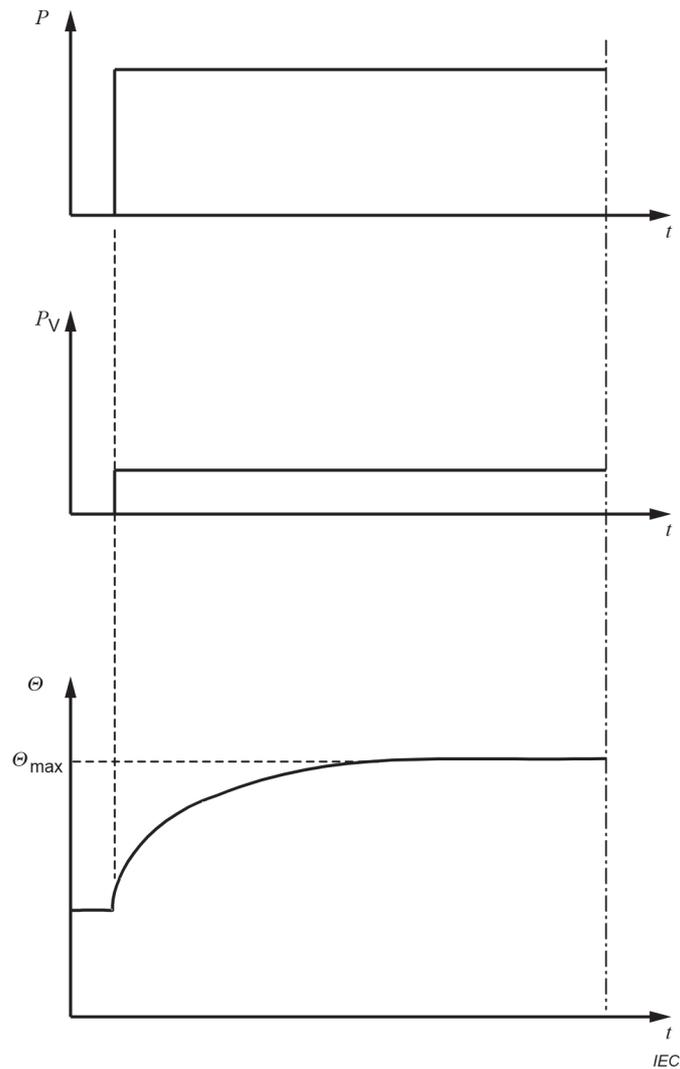
Where the purchaser does not declare a duty, the manufacturer shall assume that duty type S1 (continuous running duty) applies.

4.2 Duty types

4.2.1 Duty type S1 – Continuous running duty

Operation at a constant load maintained for sufficient time to allow the machine to reach thermal equilibrium, see Figure 1.

The appropriate abbreviation is S1.

**Key**

P	load
P_V	electrical losses
Θ	temperature
Θ_{\max}	maximum temperature attained
t	time

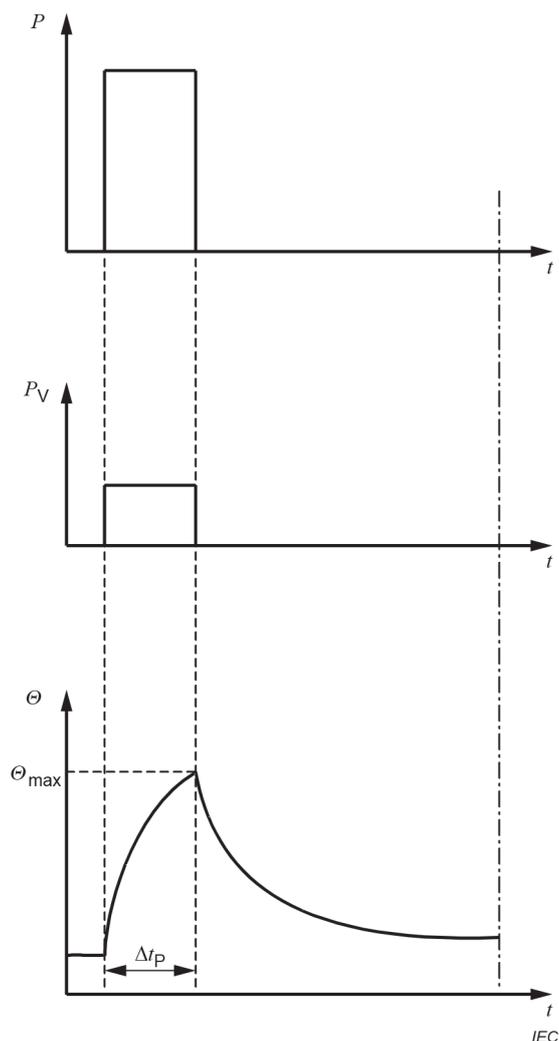
Figure 1 – Continuous running duty – Duty type S1

4.2.2 Duty type S2 – Short-time duty

Operation at constant load for a given time, less than that required to reach thermal equilibrium, followed by a time at rest and de-energized of sufficient duration to re-establish machine temperatures within 2 K of the coolant temperature, see Figure 2.

The appropriate abbreviation is S2, followed by an indication of the duration of the duty.

Example: S2 60 min.



Key

- P load
- P_V electrical losses
- Θ temperature
- Θ_{\max} maximum temperature attained
- t time
- Δt_p operation time at constant load,
e. g. $\Delta t_p = 60$ min for S2 60 min

Figure 2 – Short-time duty – Duty type S2

4.2.3 Duty type S3 – Intermittent periodic duty

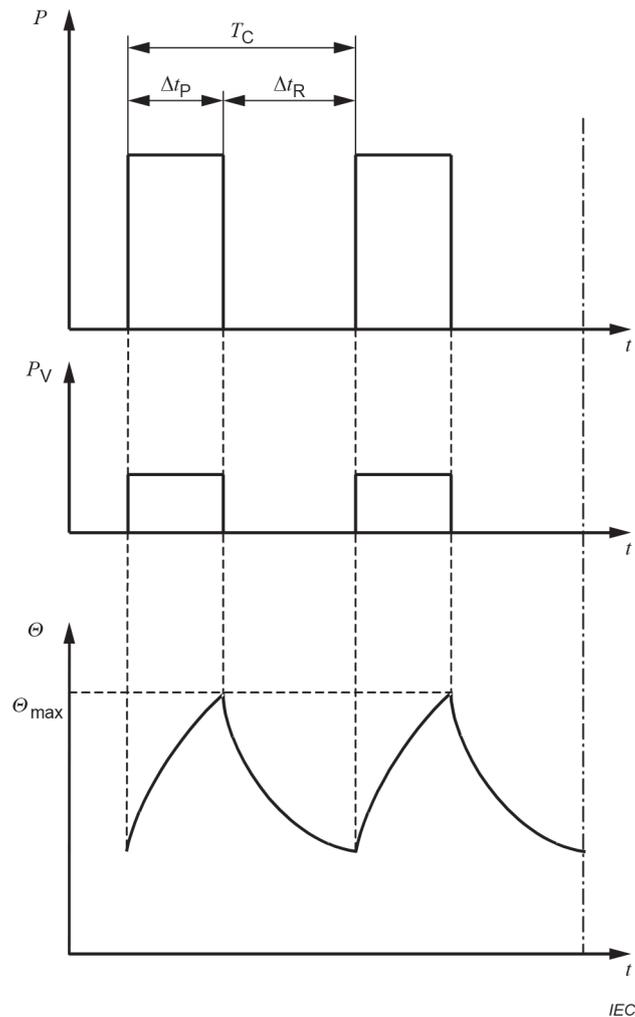
NOTE 1 Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

NOTE 2 For duty cycles with a time of one load cycle T_C other than 10 min, see 5.2.3.

A sequence of identical duty cycles, each including a time of operation at constant load and a time at rest and de-energized, see Figure 3. In this duty, the cycle is such that the starting current does not significantly affect the temperature rise.

The appropriate abbreviation is S3, followed by the cyclic duration factor.

Example: S3 25 %.

**Key**

P	load
P_V	electrical losses
Θ	temperature
Θ_{\max}	maximum temperature attained
t	time
T_C	time of one load cycle
Δt_P	operation time at constant load
Δt_R	time at rest and de-energized
Cyclic duration factor = $\Delta t_P / T_C$	

Figure 3 – Intermittent periodic duty – Duty type S3

4.2.4 Duty type S4 – Intermittent periodic duty with starting

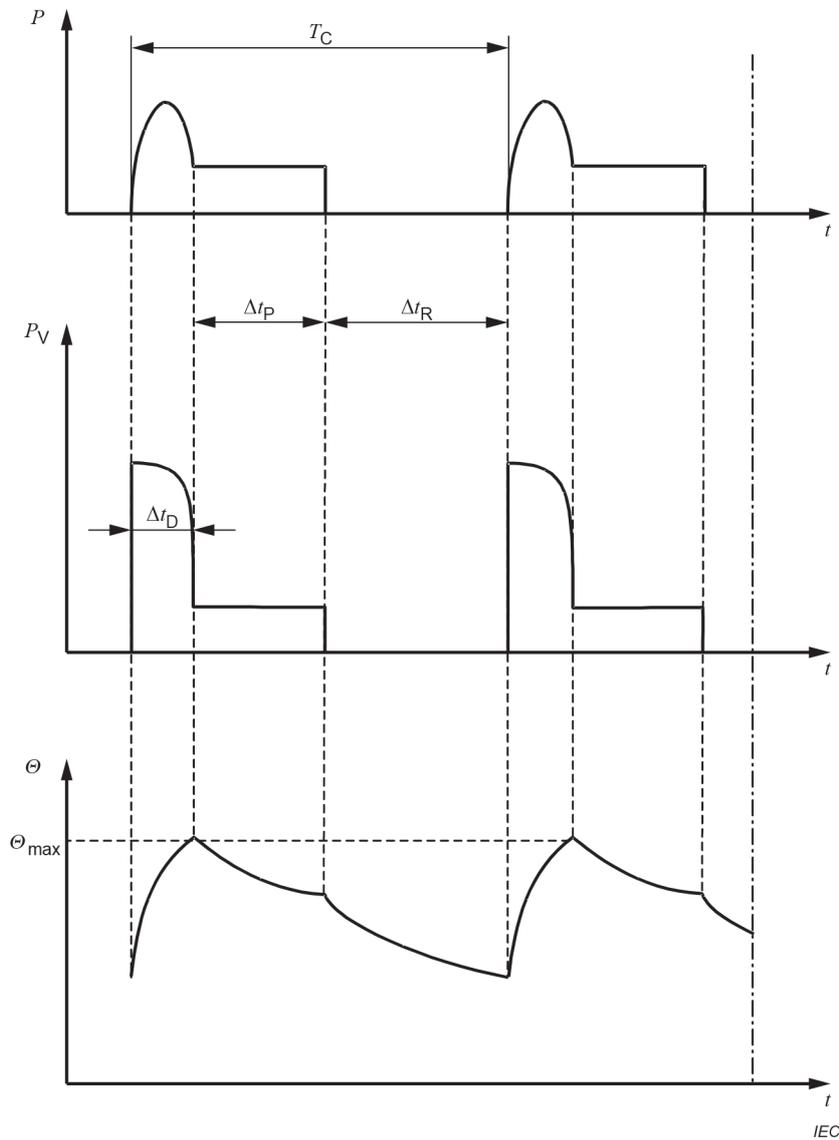
NOTE 1 Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

NOTE 2 For duty cycles with a time of one load cycle T_C other than 10 min, see 5.2.3.

A sequence of identical duty cycles, each cycle including a significant starting time, a time of operation at constant load and a time at rest and de-energized, see Figure 4.

The appropriate abbreviation is S4, followed by the cyclic duration factor, the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft.

Example: S4 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{\text{ext}} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$.



Key

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_D	starting/accelerating time
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_P	operation time at constant load
		Δt_R	time at rest and de-energized

Cyclic duration factor = $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Figure 4 – Intermittent periodic duty with starting – Duty type S4

4.2.5 Duty type S5 – Intermittent periodic duty with electric braking

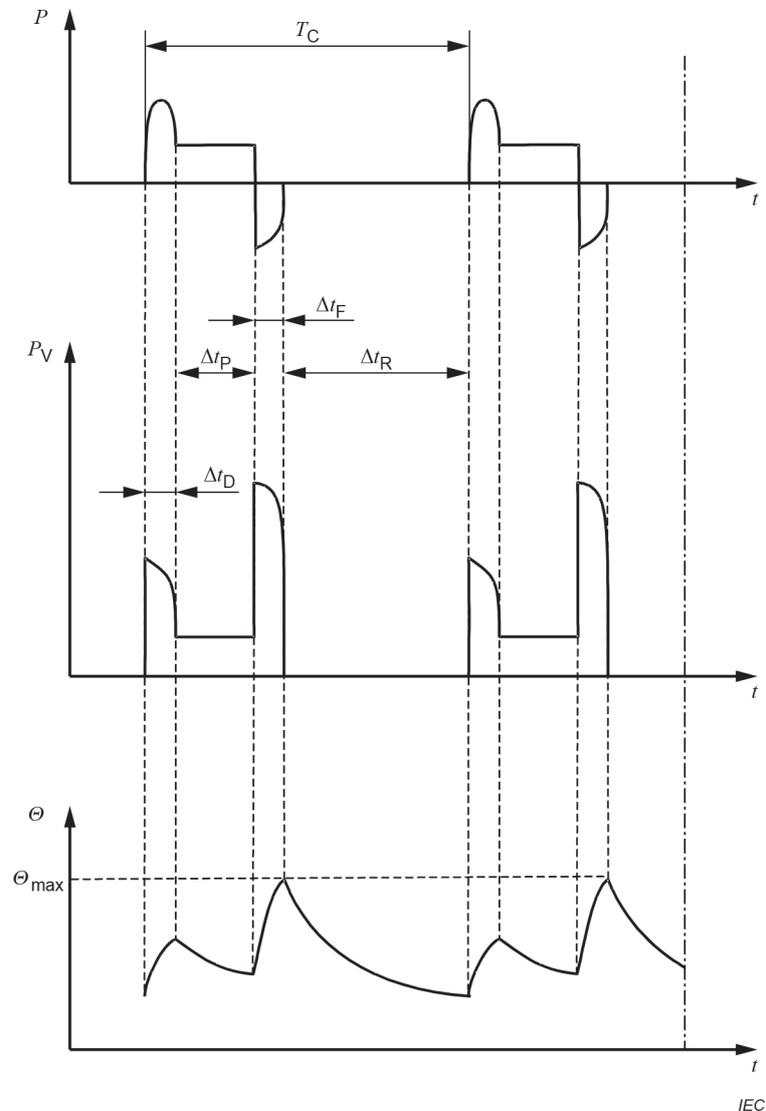
NOTE 1 Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

NOTE 2 For duty cycles with a time of one load cycle T_C other than 10 min, see 5.2.3.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a starting time, a time of operation at constant load, a time of electric braking and a time at rest and de-energized, see Figure 5.

The appropriate abbreviation is S5, followed by the cyclic duration factor, the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft.

Example: S5 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$.



Key

P	load	T_C	time of one load cycle
P_V	electrical losses	Δt_D	starting/accelerating time
Θ	temperature	Δt_P	operation time at constant load
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_F	time of electric braking
t	time	Δt_R	time at rest and de-energized

Cyclic duration factor = $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

Figure 5 – Intermittent periodic duty with electric braking – Duty type S5

4.2.6 Duty type S6 – Continuous operation periodic duty

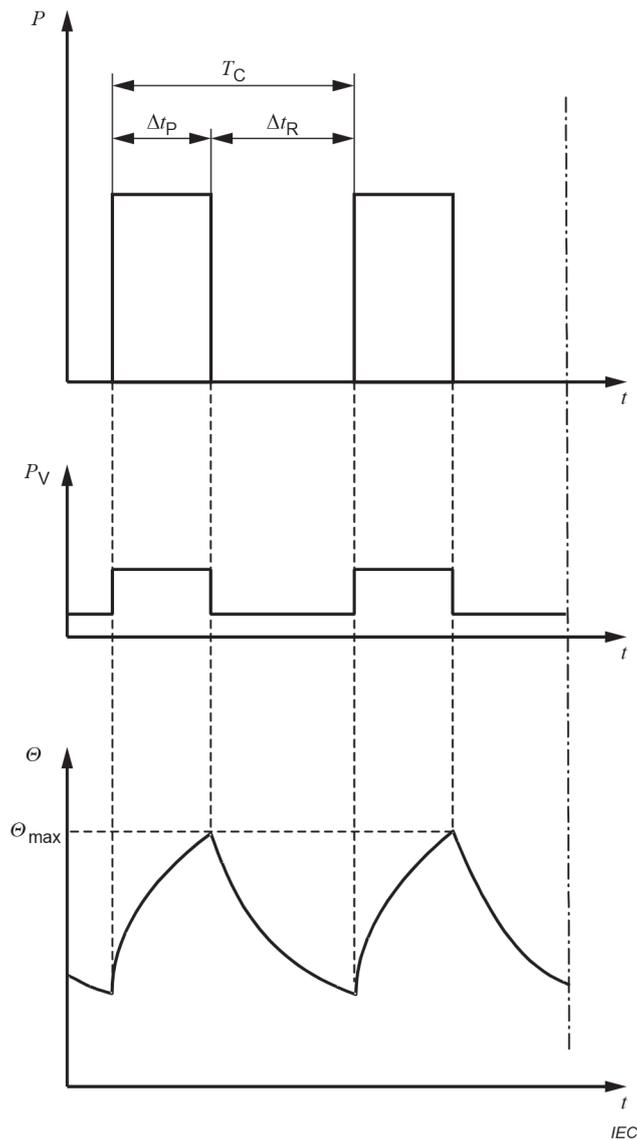
NOTE 1 Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

NOTE 2 For duty cycles with a time of one load cycle T_C other than 10 min, see 5.2.3.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a time of operation at constant load and a time of operation at no-load. There is no time at rest and de-energized, see Figure 6.

The appropriate abbreviation is S6, followed by the cyclic duration factor.

Example: S6 40 %.



Key

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_P	operation time at constant load
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_V	operation time at no-load

Cyclic duration factor = $\Delta t_P / T_C$

Figure 6 – Continuous operation periodic duty – Duty type S6

4.2.7 Duty type S7 – Continuous operation periodic duty with electric braking

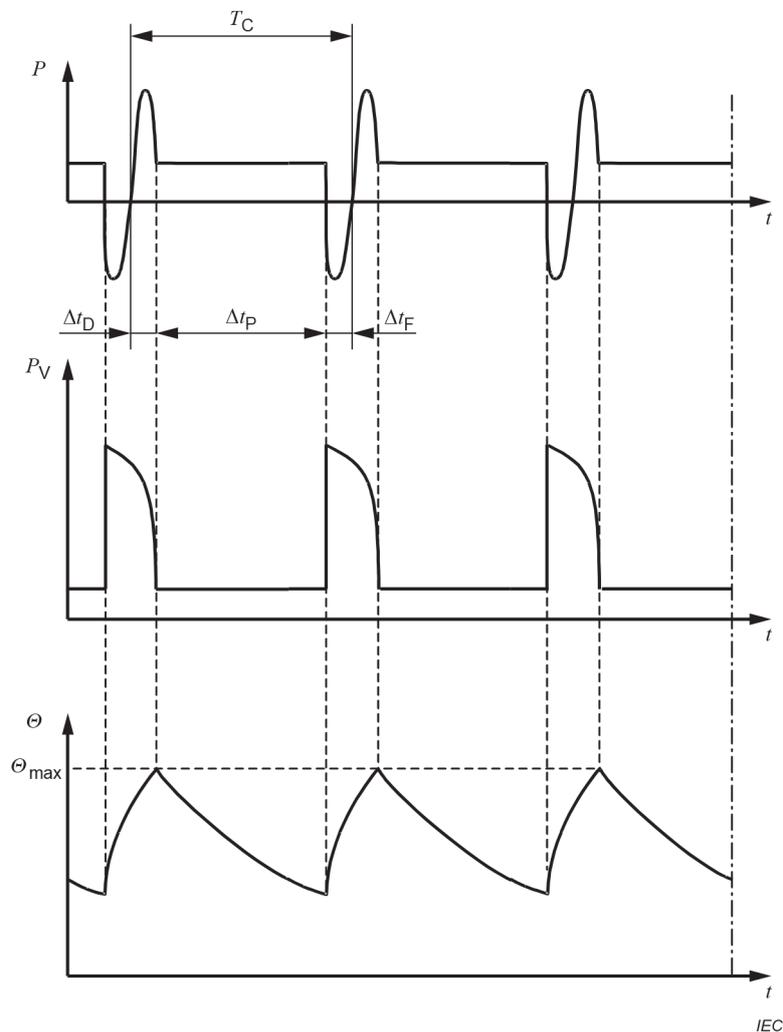
NOTE 1 Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

NOTE 2 For duty cycles with a time of one load cycle T_C other than 10 min, see 5.2.3.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a starting time, a time of operation at constant load and a time of electric braking. There is no time at rest and de-energized, see Figure 7.

The appropriate abbreviation is S7, followed by the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft.

Example: S7 $J_M = 0,4 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Key

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_D	starting/accelerating time
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_P	operation time at constant load
Cyclic duration factor = 1		Δt_F	time of electric braking

Figure 7 – Continuous operation periodic duty with electric braking – Duty type S7

4.2.8 Duty type S8 – Continuous operation periodic duty with related load/speed changes

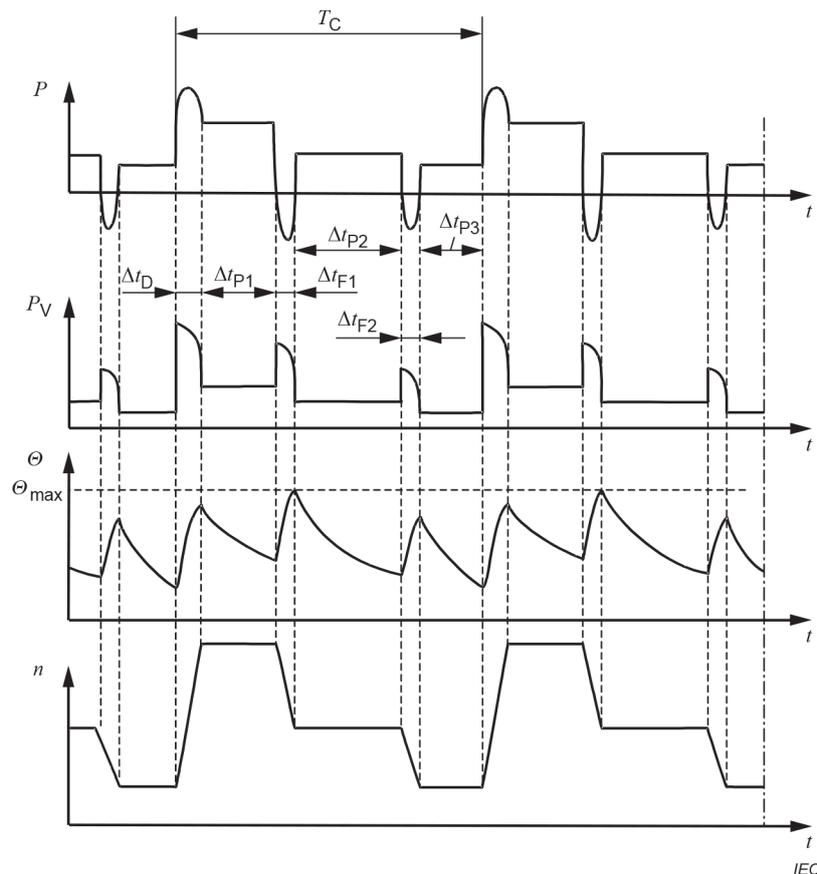
NOTE 1 Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

NOTE 2 For duty cycles with a time of one load cycle T_C other than 10 min, see 5.2.3.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a time of operation at constant load corresponding to a predetermined speed of rotation, followed by one or more times of operation at other constant loads corresponding to different speeds of rotation (carried out, for example, by means of a change in the number of poles in the case of induction motors). There is no time at rest and de-energized (see Figure 8).

The appropriate abbreviation is S8, followed by the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft, together with the load, speed and cyclic duration factor for each speed condition.

Example:	S8 $J_M = 0,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$	$J_{ext} = 6 \text{ kg} \times \text{m}^2$	16 kW	740 min^{-1}	30 %
			40 kW	1 460 min^{-1}	30 %
			25 kW	980 min^{-1}	40 %.

**Key**

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_D	starting/accelerating time
Θ_{\max}	maximum temperature attained	Δt_P	operation time at constant load (P1, P2, P3)
n	speed	Δt_F	time of electric braking (F1, F2)

$$\text{Cyclic duration factor} = (\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C; (\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C; (\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$$

Figure 8 – Continuous operation periodic duty with related load/speed changes – Duty type S8

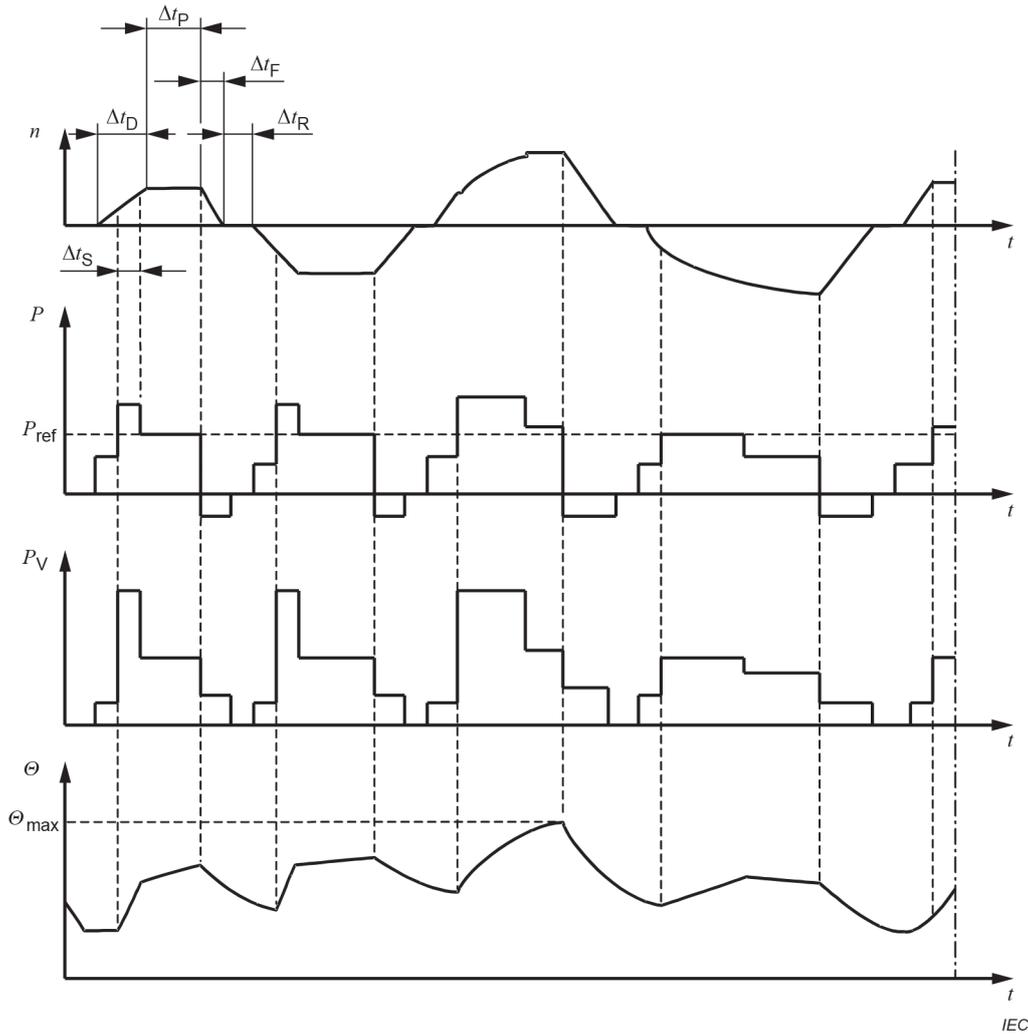
4.2.9 Duty type S9 – Duty with non-periodic load and speed variations

A duty in which generally load and speed vary non-periodically within the permissible operating range. This duty includes frequently applied overloads that may greatly exceed the reference load (see Figure 9).

The appropriate abbreviation is S9.

For this duty type, a constant load appropriately selected and based on duty type S1 is taken as the reference value (P_{ref} in Figure 9) for the overload concept.

Converter duty can also be determined under duty type S9 when operated on dynamic non-periodic load and speed variations. Subclause 4.2 of IEC TS 60034-25:2014 can be considered as reference in determining converter duty.



Key

P	load	t	time
P_{ref}	reference load	Δt_D	starting/accelerating time
P_V	electrical losses	Δt_P	operation time at constant load
Θ	temperature	Δt_F	time of electric braking
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_R	time at rest and de-energized
n	speed	Δt_S	time under overload

Figure 9 – Duty with non-periodic load and speed variations – Duty type S9

4.2.10 Duty type S10 – Duty with discrete constant loads and speeds

A duty consisting of a specific number of discrete values of load (or equivalent loading) and if applicable, speed, each load/speed combination being maintained for sufficient time to allow the machine to reach thermal equilibrium, see Figure 10. The minimum load within a duty cycle may have the value zero (no-load or at rest and de-energized).

The appropriate abbreviation is S10, followed by the per unit quantities $p/\Delta t$ for the respective load and its duration and the per unit quantity TL for the relative thermal life expectancy of the insulation system. The reference value for the thermal life expectancy is the thermal life expectancy at rating for continuous running duty and permissible limits of temperature rise based on duty type S1. For a time at rest and de-energized, the load shall be indicated by the letter r .

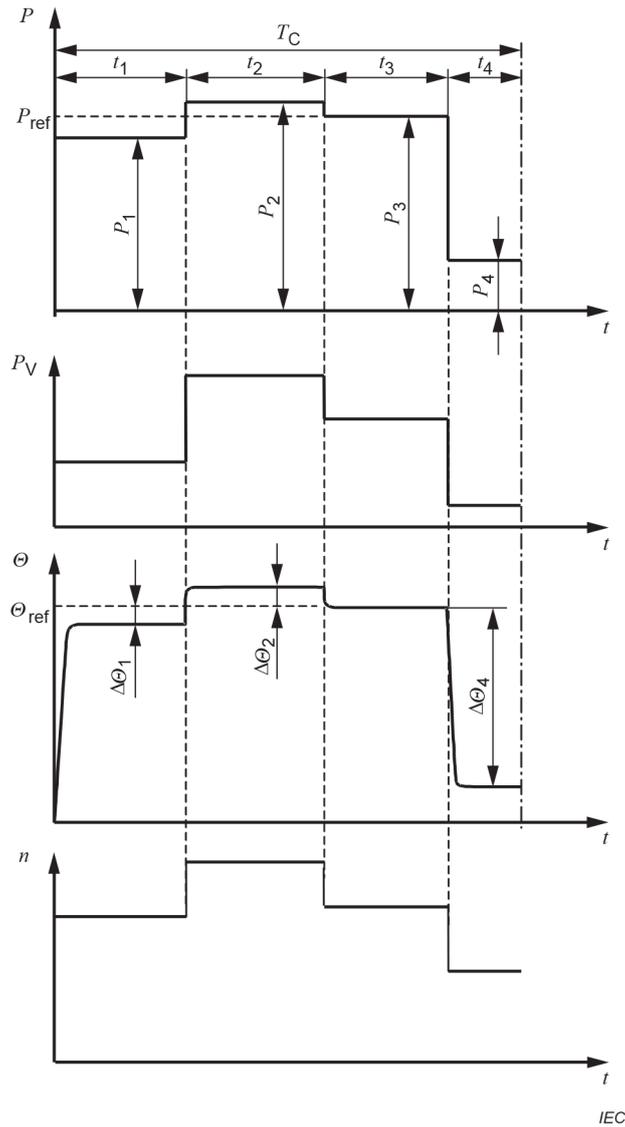
Example: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $TL = 0,60$.

The value of TL should be rounded off to the nearest multiple of 0,05. Advice concerning the significance of this parameter and the derivation of its value is given in Annex A.

For this duty type a constant load appropriately selected and based on duty type S1 shall be taken as the reference value (P_{ref} in Figure 10) for the discrete loads.

The discrete values of load will usually be equivalent loading based on integration over a period of time. It is not necessary that each load cycle be exactly the same, only that each load within a cycle be maintained for sufficient time for thermal equilibrium to be reached, and that each load cycle be capable of being integrated to give the same relative thermal life expectancy.

Converter duty can also be determined under duty type S10 when operated on discrete, i. e. non-dynamic, non-periodic load and speed variations. Subclause 4.2 of IEC TS 60034-25:2014 can be considered as reference in determining converter duty.



Key

P	load	t	time
P_i	constant load within a load cycle	t_i	time of a constant load within a cycle
P_{ref}	reference load based on duty type S1	T_C	time of one load cycle
P_V	electrical losses	$\Delta\Theta_i$	difference between the temperature rise of the winding at each of the various loads within one cycle and the temperature rise based on duty cycle S1 with reference load
Θ	temperature	n	speed
Θ_{ref}	temperature at reference load based on duty type S1		

Figure 10 – Duty with discrete constant loads – Duty type S10

5 Rating

5.1 Assignment of rating

The rating, as defined in 3.2, shall be assigned by the manufacturer. In assigning the rating the manufacturer shall select one of the classes of rating defined in 5.2.1 to 5.2.6. The designation of the class of rating shall be written after the rated output. If no designation is stated, rating for continuous running duty applies.

When accessory components (such as reactors, capacitors, etc.) are connected by the manufacturer as part of the machine, the rated values shall refer to the supply terminals of the whole arrangement.

NOTE This does not apply to power transformers connected between the machine and the supply.

Special considerations are required when assigning ratings to machines fed from or supplying static converters. IEC TS 60034-25 gives guidance on this.

5.2 Classes of rating

5.2.1 Rating for continuous running duty

A rating at which the machine may be operated for an unlimited period, while complying with the requirements of this document.

This class of rating corresponds to duty type S1 and is designated as for the duty type S1.

5.2.2 Rating for short-time duty

A rating at which the machine may be operated for a limited period, starting at ambient temperature, while complying with the requirements of this document.

This class of rating corresponds to duty type S2 and is designated as for the duty type S2.

5.2.3 Rating for periodic duty

A rating at which the machine may be operated on duty cycles, while complying with the requirements of this document.

This class of rating corresponds to one of the periodic duty types S3 to S8 and is designated as for the corresponding duty type.

Unless otherwise specified, the duration of a duty cycle shall be 10 min and the cyclic duration factor shall be one of the following values:

15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

5.2.4 Rating for non-periodic duty

A rating at which the machine may be operated non-periodically while complying with the requirements of this document.

This class of rating corresponds to the non-periodic duty type S9 and is designated as for the duty type S9.

5.2.5 Rating for duty with discrete constant loads and speeds

A rating at which the machine may be operated with the associated loads and speeds of duty type S10 for an unlimited period of time while complying with the requirements of this document. The maximum permissible load within one cycle shall take into consideration all parts of the machine, for example, the insulation system regarding the validity of the exponential law for the relative thermal life expectancy, bearings with respect to temperature, other parts with respect to thermal expansion. Unless specified in other relevant IEC standards, the maximum load shall not exceed 1,15 times the value of the load based on duty type S1. The minimum load may have the value zero, the machine operating at no-load or being at rest and de-energized. Considerations for the application of this class of rating are given in Annex A.

This class of rating corresponds to the duty type S10 and is designated as for the duty type S10.

NOTE Other relevant IEC standards may specify the maximum load in terms of limiting winding temperature (or temperature rise) instead of per unit load based on duty type S1.

5.2.6 Rating for equivalent loading

A rating, for test purposes, at which the machine may be operated at constant load until thermal equilibrium is reached and which results in the same stator winding temperature rise as the average temperature rise during one load cycle of the specified duty type.

The determination of an equivalent rating should take account of the varying load, speed and cooling of the duty cycle.

This class of rating, if applied, is designated 'equ'.

5.3 Selection of a class of rating

A machine manufactured for general purpose shall have a rating for continuous running duty and be capable of performing duty type S1.

If the duty has not been specified by the purchaser, duty type S1 applies and the rating assigned shall be a rating for continuous running duty.

When a machine is intended to have a rating for short-time duty, the rating shall be based on duty type S2, see 4.2.2.

When a machine is intended to supply varying loads or loads including a time of no-load or times where the machine will be in a state of at rest and de-energized, the rating shall be a rating for periodic duty based on a duty type selected from duty types S3 to S8, see 4.2.3 to 4.2.8.

When a machine is intended to supply non-periodically variable loads at variable speeds, including overloads, the rating shall be a rating for non-periodic duty based on duty type S9, see 4.2.9.

When a machine is intended to supply discrete constant loads including times of overload or times of no-load (or at rest and de-energized), the rating shall be a rating with discrete constant loads based on duty type S10, see 4.2.10.

5.4 Allocation of outputs to class of rating

In the determination of the rating:

For duty types S1 to S8, the specified value(s) of the constant load(s) shall be the rated output(s), see 4.2.1 to 4.2.8.

For duty types S9 and S10, the reference value of the load based on duty type S1 shall be taken as the rated output, see 4.2.9 and 4.2.10.

5.5 Rated output

5.5.1 DC generators

The rated output is the output at the terminals and shall be expressed in watts (W).

5.5.2 AC generators

The rated output is the apparent power at the terminals and shall be expressed in volt-amperes (VA) together with the power factor.

The rated power factor for synchronous generators shall be 0,8 lagging (over-excited), unless otherwise specified by the purchaser.

NOTE A P-Q capability diagram (power chart) indicating the limits of operation, provides more detailed information on generator's performance.

5.5.3 Motors

The rated output is the mechanical power available at the shaft and shall be expressed in watts (W).

NOTE It is the practice in some countries for the mechanical power available at the shafts of motors to be expressed in horsepower (1 h.p. is equivalent to 745,7 W; 1 ch (cheval or metric horsepower) is equivalent to 736 W).

5.5.4 Synchronous compensators

The rated output is the reactive power at the terminals and shall be expressed in volt-amperes (VA) in leading (under-excited) and lagging (over-excited) conditions.

5.6 Rated voltage

5.6.1 DC generators

For DC generators intended to operate over a relatively small range of voltage, the rated output and current shall apply at the highest voltage of the range, unless otherwise specified, see also 7.3.

5.6.2 AC generators

For AC generators intended to operate over a relatively small range of voltage, the rated output and power factor shall apply at any voltage within the range, unless otherwise specified, see also 7.3.

5.6.3 AC motors

AC motors may have two or more different rated voltages or a rated voltage range, as indicated on the rating plate (see 10.4.2). In all these cases, voltage (and frequency) variations according to 7.4 are valid in addition and do not need be indicated separately.

5.7 Preferred combinations of voltages and outputs

It is not practical to build machines of all ratings for all rated voltages. In general, for AC machines, based on design and manufacturing considerations, preferred voltage ratings above 1 kV in terms of rated output are as shown in Table 1.

Table 1 – Preferred voltage ratings

Rated voltage kV	Minimum rated output kW (or kVA)
$1,0 < U_N \leq 3,0$	100
$3,0 < U_N \leq 6,0$	150
$6,0 < U_N \leq 11,0$	800
$11,0 < U_N \leq 15,0$	2 500

5.8 Machines with more than one rating

For machines with more than one rating, the machine shall comply with this document in all respects at each rating.

For multi-speed machines, a rating shall be assigned for each speed.

When a rated quantity (output, voltage, speed, etc.) may assume several values or vary continuously within two limits, the rating shall be stated at these values or limits. This provision does not apply to voltage and frequency variations during operation as defined in 7.3 or to star-delta connections intended for starting.

6 Site conditions

6.1 General

Unless otherwise specified, machines shall be suitable for the following site conditions outside the casing during operation, for standstill, storage and transportation. The cold coolant inlet temperatures for different types of cooling are specified in Table 5. For site operating conditions deviating from those values, corrections are given in Clause 8.

Machines operating outside the range of the standard site conditions shall require special consideration.

6.2 Altitude

The altitude shall not exceed 1 000 m above sea level. For higher altitudes, it shall be considered in the design of the machine that the arcing distance will decrease with the decreasing air-pressure.

6.3 Maximum ambient air temperature

The ambient air temperature shall not exceed 40 °C.

6.4 Minimum ambient air temperature

Unless otherwise agreed between manufacturer and customer, the ambient air temperature shall not be less than –15 °C for all machines except machines with any of the following, for which the ambient temperature shall be not less than 0 °C:

- a) rated output greater than 3 300 kW (or kVA) per 1 000 min⁻¹;
- b) rated output less than 600 W (or VA);
- c) a commutator;
- d) a sleeve bearing;

e) water as a primary or secondary coolant.

6.5 Water coolant temperature

For the reference water coolant temperature, see Table 5. For other water coolant temperatures, see Table 10. The water coolant temperature shall not be less than +5 °C.

6.6 Standstill, storage and transport

When temperatures lower than specified in 6.4 are expected during transportation, storage, or after installation at standstill, the purchaser shall inform the manufacturer and specify the expected minimum temperature.

Special measures may be needed before energizing the machine after longer periods of standstill, storage and transportation. Special measures may also be needed during the un-operational periods. See manufacturer's instructions.

6.7 Purity of hydrogen coolant

Hydrogen cooled machines shall be capable of operating at rated output under rated conditions with a coolant containing not less than 95 % hydrogen by volume.

For safety reasons, the hydrogen content should at all times be maintained at 90 % or more, it being assumed that the other gas in the mixture is air.

For calculating efficiency in accordance with IEC 60034-2 (all parts), the standard composition of the gaseous mixture shall be 98 % hydrogen and 2 % air by volume, at the specified values of pressure and temperature of the re-cooled gas, unless otherwise agreed. Windage losses shall be calculated at the corresponding density.

7 Electrical operating conditions

7.1 Electrical supply

For three-phase AC machines, 50 Hz or 60 Hz, intended to be directly connected to distribution or utilisation systems, the rated voltages shall be derived from the nominal voltages given in IEC 60038.

NOTE For large high-voltage AC machines, the voltages may be selected for optimum performance.

For AC machines connected to static converters these restrictions on voltage, frequency and waveform do not apply. In this case, the rated voltages shall be selected by agreement.

For converter capable or converter duty electrical machines with Type I or Type II insulation systems according to IEC 60034-18-41 or IEC 60034-18-42, the manufacturer can assign an impulse voltage insulation class (IVIC) for the insulation system.

In case of a converter capable or converter duty electrical machine with rated power above 1 kW with a Type I insulation system and an IVIC assigned, the insulation system should be suitable for IVIC C for phase-to-phase and IVIC B for phase-to-ground, or as otherwise agreed to between the user and the manufacturer.

In case of a converter capable or converter duty electrical machine with rated voltage $U_N \leq 1$ kV with a Type II insulation system and an IVIC assigned, the insulation system should be suitable for IVIC 5 for phase-to-phase and IVIC 4 for phase-to-ground or as otherwise agreed to between the user and the manufacturer.

In case of a converter capable or converter duty electrical machine with rated voltage $U_N > 1$ kV with a Type II insulation system, it is the responsibility of the electrical machine manufacturer to specify the impulse voltage withstand ability of the electrical machine winding insulation. Since drive topologies vary greatly, and since these larger motors are converter duty machines mostly custom designed as needed, it is, in case an IVIC is assigned, not practical to define a default IVIC level (see IEC TS 60034-25). If the topology of the frequency converter and the system are known, IEC TS 61800-8 can be used to give an indication of the peak voltage at the motor terminals and therefore the motor's needed IVIC.

In case an IVIC is assigned, the IVIC level shall be given in the documentation and preferably on the rating plate (see Clause 10).

NOTE For more information on special considerations for converter fed machines, see IEC TS 60034-25.

Any bus transfer or fast reclosing of an AC machine, as it might occur, for example, due to the voltage ride through requirements of grid codes, can lead to very high peak currents endangering the stator winding overhang and to a very high peak torque of up to 20 times rated torque endangering the mechanical structure including the coupling and the driven or driving equipment, if the reclosing is done without synchronizing. Bus transfer or fast reclosing is therefore only allowed if specified and accepted by the manufacturers of electric machine and driven equipment.

For induction machines with ratings ≤ 10 MW or MVA, slow reclosing exceeding 1,5 times the open circuit time constant is allowed, if specified and accepted by the manufacturers of the electric machine and the driven equipment. For ratings > 10 MW or MVA, the allowed minimum time for slow reclosing should be determined by transient analysis of the complete system by the system integrator and is allowed if accepted by the manufacturers of the electric machine and the driven equipment.

7.2 Form and symmetry of voltages and currents

7.2.1 AC motors

7.2.1.1 AC motors rated for use on a power supply of fixed frequency, supplied from an AC generator (whether local or via a supply network) shall be suitable for operation on a supply voltage having a harmonic voltage factor (*HVF*) not exceeding:

- 0,02 for single-phase motors and three-phase motors, including synchronous motors but excluding motors of design N (see IEC 60034-12), unless the manufacturer declares otherwise;
- 0,03 for design N motors.

The *HVF* shall be computed by using the following formula:

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^k \frac{u_n^2}{n}}$$

where

u_n is the ratio of the harmonic voltage U_n to the rated voltage U_N ;

n is the order of harmonic (not divisible by three in the case of three-phase AC motors);

$k = 13$.

Three-phase AC motors shall be suitable for operation on a three-phase voltage system having a negative-sequence component not exceeding 1 % of the positive-sequence component over a long period, or 1,5 % for a short period not exceeding a few minutes, and a zero-sequence component not exceeding 1 % of the positive-sequence component.

Should the limiting values of the *HVF* and of the negative-sequence and zero-sequence components occur simultaneously in service at the rated load, this shall not lead to any harmful temperature in the motor, and it is recommended that the resulting excess temperature rise related to the limits specified in this document should be not more than approximately 10 K.

In the vicinity of large single-phase loads (e.g. induction furnaces), and in rural areas particularly on mixed industrial and domestic systems, supplies may be distorted beyond the limits set out above. Special arrangements will then be necessary.

7.2.1.2 AC motors supplied from static converters have to tolerate higher harmonic contents of the supply voltage; see IEC TS 60034-25.

NOTE When the supply voltage is significantly non-sinusoidal, for example from static converters, the r.m.s. value of the total waveform and of the fundamental are both relevant in determining the performance of an AC machine.

7.2.2 AC generators

Three-phase AC generators shall be suitable for supplying circuits which, when supplied by a system of balanced and sinusoidal voltages:

- a) result in currents not exceeding a harmonic current factor (*HCF*) of 0,05, and
- b) result in a system of currents where neither the negative-sequence component nor the zero-sequence component exceed 5 % of the positive-sequence component.

The *HCF* shall be computed by using the following formula:

$$HCF = \sqrt{\sum_{n=2}^k i_n^2}$$

where

i_n is the ratio of the harmonic current I_n to the rated current I_N ;

n is the order of harmonic;

$k = 13$.

Should the limits of deformation and imbalance occur simultaneously in service at the rated load, this shall not lead to any harmful temperature in the generator, and it is recommended that the resulting excess temperature rise related to the limits specified in this document should be not more than approximately 10 K.

7.2.3 Synchronous machines

Unless otherwise specified, three-phase synchronous machines shall be capable of operating continuously on an unbalanced system in such a way that, with none of the phase currents exceeding the rated current, the ratio of the negative-sequence component of current ($I_{(2)}$) to the rated current (I_N) does not exceed the values in Table 2, and under fault conditions shall be capable of operation with the product of $(I_{(2)}/I_N)^2$ and time (t) not exceeding the values in Table 2.

Table 2 – Unbalanced operating conditions for synchronous machines

Item	Machine type	Maximum $I_{(2)}/I_N$ value for continuous operation	Maximum $(I_{(2)}/I_N)^2 \times t$ in seconds for operation under fault conditions
Salient pole machines and PM excited machines			
1	Indirect cooled windings		
	motors	0,1	20
	generators	0,08	20
	synchronous compensators	0,1	20
2	Direct cooled (inner cooled) stator and/or field windings		
	motors	0,08	15
	generators	0,05	15
	synchronous compensators	0,08	15
Cylindrical rotor synchronous machines			
3	Indirect cooled rotor windings		
	air-cooled	0,1	15
	hydrogen-cooled	0,1	10
4	Direct cooled (inner cooled) rotor windings		
	≤350 MVA	0,08	8
	>350 ≤900 MVA	a	b
	>900 ≤1 250 MVA	a	5
	>1 250 ≤1 600 MVA	0,05	5
<p>^a For these machines, the value of $I_{(2)}/I_N$ is calculated as follows:</p> $\frac{I_{(2)}}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$ <p>^b For these machines, the value of $(I_{(2)}/I_N)^2 \times t$, in seconds, is calculated as follows:</p> $(I_{(2)}/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005\,45 (S_N - 350)$ <p>where in the two footnotes, S_N is the rated apparent power in MVA.</p>			

7.2.4 DC motors supplied from static power converters

In the case of a DC motor supplied from a static power converter, the pulsating voltage and current affect the performance of the machine. Losses and temperature rise will increase and the commutation is more difficult compared with a DC motor supplied from a pure DC power source.

It is necessary, therefore, for motors with a rated output exceeding 5 kW, intended for supply from a static power converter, to be designed for operation from a specified supply, and, if considered necessary by the motor manufacturer, for an external inductance to be provided for reducing the undulation.

The static power converter supply shall be characterized by means of an identification code, as follows:

$$[CCC - U_{aN} - f - L]$$

where

CCC is the identification code from Table 3, which is based on IEC 61148;

U_{aN} consists of three or four digits indicating the rated alternating voltage at the input terminals of the converter, in V;

f consists of two digits indicating the rated input frequency, in Hz;

L consists of one, two or three digits indicating the series inductance to be added externally to the motor armature circuit, in mH. If this is zero, it is omitted.

Table 3 – *CCC* symbol designation

Identification code <i>CCC</i>	1-pair configuration (configuration name)	Pair number “m” for arms in IEC 61148	Clause No. and title in IEC 61148
A-Type	Thyristor + Thyristor (Full bridge)	m = 3	5.1.3.2 Bridge connection
B-Type	Thyristor + Diode (Mixed bridge)	m = 3	Same as above
C-Type	Thyristor + Thyristor (Full bridge)	m = 2	Same as above
D-Type	Thyristor + Diode (Mixed bridge)	m = 2	Same as above

Motors with rated output not exceeding 5 kW, instead of being tied to a specific type of static power converter, may be designed for use with any static power converter, with or without external inductance, provided that the rated form factor for which the motor is designed will not be surpassed and that the insulation level of the motor armature circuit is appropriate for the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter.

In all cases, the undulation of the static power converter output current is assumed to be so low as to result in a current ripple factor not higher than 0,1 at rated conditions.

7.3 Voltage during starting of AC motors

An AC motor will start only if its starting torque is adequately matched to the counter-torque and the inertia of the load. For three-phase, single-speed AC motors, a motor shall be able to start at 90 % of its rated voltage at a load torque proportional to the speed squared up to 70 % of the rated torque at rated speed and a load inertia up to 50 % of the motor's inertia, as long as no different value has been specified beforehand.

NOTE 1 See IEC TS 60034-25 for information on converter duty machines.

NOTE 2 For starting performance of design N motors, see IEC 60034-12.

7.4 Voltage and frequency variations during operation

For AC machines rated for use on a power supply of fixed frequency supplied from an AC generator (whether local or via a supply network), combinations of voltage variation and frequency variation are classified as being either zone A or zone B, in accordance with Figure 11. For generators or synchronous compensators within the scope of IEC 60034-3 and for hydro generators within the scope of IEC 60034-33, different voltage and frequency limits apply as defined in those standards.

For DC machines, when directly connected to a normally constant DC bus, zones A and B apply only to the voltages.

A machine shall be capable of performing its primary function, as specified in Table 4, continuously within zone A, but need not comply fully with its performance at rated voltage and frequency (see rating point in Figure 11), and may exhibit some deviations. Temperature rises may be higher than at rated voltage and frequency.

A machine shall be capable of performing its primary function within zone B, but may exhibit greater deviations from its performance at rated voltage and frequency than in zone A. Temperature rises may be higher than at rated voltage and frequency and most likely will be higher than those in zone A. Extended operation at the perimeter of zone B is not recommended.

In practical applications and operating conditions, a machine will sometimes be required to operate outside the perimeter of zone A. Such excursions should be limited in value, duration and frequency of occurrence. Corrective measures should be taken, where practical, within a reasonable time, for example, a reduction in output. Such action may avoid a reduction in machine life from temperature effects.

For machines that are designed to operate at the temperature rise limits of their thermal class, the graph in Figure 12 is offered as indicative guidance to machine users for the required reduction of output power as function of the combined variation of voltage and frequency that can limit, but not necessarily completely avoid a reduction in machine life. The combined variation of voltage and frequency is calculated as:

$$|\Delta\phi| = \left| \frac{U-U_N}{U_N} - \frac{f-f_N}{f_N} \right|$$

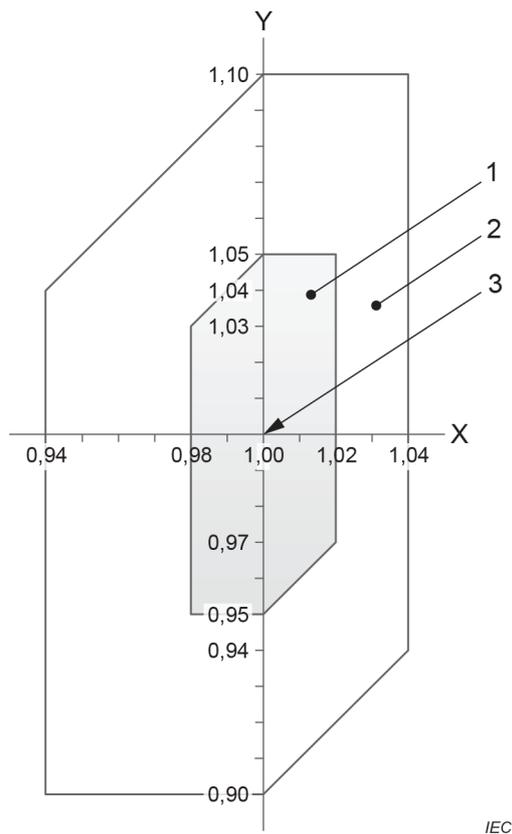
Operating outside zone A may also have significant effects on the acoustic noise, the vibration and the magnetic pull.

NOTE 1 The temperature-rise limits or temperature limits in accordance with this document apply at the rating point and may be progressively exceeded as the operating point moves away from the rating point. For conditions at the extreme boundaries of zone A, the temperature rises and temperatures typically exceed the limits specified in this document by approximately 10 K; the hot-spot temperature might even increase significantly more.

NOTE 2 In case it is required for operational reasons to operate a machine continuously at the perimeter of zone B at rated power, this requirement can be considered beforehand by the customer to specify the required motor ratings (i.e. rated power at rated voltage and rated frequency or specifying a range of rated voltages) and to have them duly taken into account in the motor design.

Table 4 – Primary functions of machines

Item	Machine type	Primary function
1	AC generator, excluding item 5	Rated apparent power (kVA), at rated power factor where this is separately controllable
2	AC motor, excluding item 3	Rated torque (Nm)
3	Synchronous motor	Rated torque (Nm), the excitation maintaining either rated field current or rated power factor, where this is separately controllable
4	Synchronous compensator, excluding item 5	Rated reactive power (kVA) within the zone applicable to a generator, see Figure 11, unless otherwise agreed
5	Synchronous generator driven by steam turbines or combustion gas turbines and synchronous compensators with rated output ≥ 10 MVA	See IEC 60034-3
6	DC generator	Rated output (kW)
7	DC motor	Rated torque (Nm), the excitation of a shunt motor maintaining rated speed, where this is separately controllable



Key

X axis frequency p.u.

Y axis Voltage p.u.

1 Zone A

2 Zone B (outside zone A)

3 rating point

Figure 11 – Voltage and frequency limits for motors and for generators except generators or synchronous compensators within the scope of IEC 60034-3 and hydro generators within the scope of IEC 60034-33

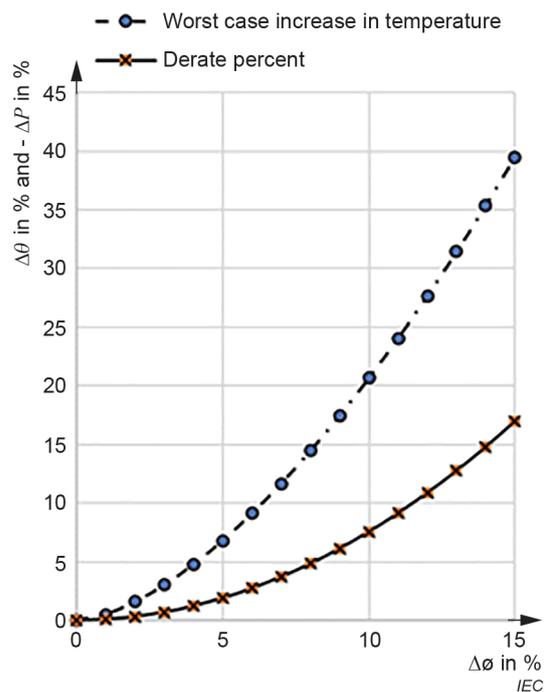


Figure 12 – Worst case increase in temperature rise ($\Delta\theta$) and recommended reduction of output power (ΔP) of motors as a function of the combined change of voltage and frequency $|\Delta\emptyset|$ (indicative guideline to users of motors and generators only)

7.5 Three-phase AC machines operating on unearthed systems

Three-phase AC machines shall be suitable for continuous operation with the neutral at or near earth potential. They shall also be suitable for operation on unearthed systems with one line at earth potential for infrequent periods of short duration, for example as required for normal fault clearance. If it is intended to run the machine continuously or for prolonged periods in this condition, a machine with a level of insulation suitable for this condition will be required.

If the winding does not have the same insulation at the line and neutral ends, this shall be stated by the manufacturer.

The earthing or interconnection of the machine's neutral points should not be undertaken without consulting the machine manufacturer because of the danger of zero-sequence components of currents of all frequencies under some operating conditions and the risk of mechanical damage to the windings under line-to-neutral fault conditions.

7.6 Voltage (peak and gradient) withstand levels

For AC machines, the manufacturer shall declare a limiting value for the peak voltage and for the voltage gradient in continuous operation, if required by the customer.

For machines used in power drive systems (PDS), see also IEC TS 60034-25.

For machines with a specified Impulse Voltage Insulation Class IVIC, see IEC 60034-18-41 in the case of machines designed to operate without partial discharges.

For AC machines with rated voltage $U_N > 1$ kV, see also IEC 60034-15.

For creepage and clearance distances of bare live conductive materials like copper or aluminium, e.g. in the terminal area, see IEC 60664-1. Enamelled wires are not considered as bare live materials. For the evaluation of winding insulation systems (base and functional insulation), see 9.2.

8 Thermal performance and tests

8.1 Thermal class

A thermal class in accordance with IEC 60085 shall be assigned to the insulation systems used in machines.

It is the responsibility of the manufacturer of the machine to interpret the results obtained by thermal endurance testing according to the appropriate part of IEC 60034-18.

NOTE 1 The thermal class of a new insulation system is not directly related to the thermal capability of the individual materials used in it.

NOTE 2 The continued use of an existing insulation system is acceptable where it has been proved by satisfactory service experience.

8.2 Reference coolant

The reference coolant for a given method of cooling the machine is specified in Table 5.

Table 5 – Reference coolant (see also Table 11)

Item	Primary coolant	Method of cooling	Secondary coolant	Table number	Table referred to in column 5 specifies limits of:	Reference coolant
1	Air	Indirect	None	8	Temperature rise	Ambient air
2	Air	Indirect	Air	8		Reference temperature: 40 °C
3	Air	Indirect	Water	8		Reference temperature of primary coolant at inlet to machine: 40 °C Reference temperature of ambient water: 25 °C
4	Hydrogen	Indirect	Water	9		
5	Air	Direct	None	13	Temperature	Ambient air
6	Air	Direct	Air	13		Reference temperature: 40 °C
7	Air	Direct	Water	13		Gas at entry to machine or liquid at entry to the windings Reference temperature: 40 °C
8	Hydrogen or liquid	Direct	Water	13		

A machine with indirect cooled windings and a water cooled heat exchanger may be rated using either the primary or secondary coolant as the reference coolant (see also 10.2 for information to be given on the rating plate). A submersible machine with surface cooling or a machine with water jacket cooling should be rated using the secondary coolant as reference coolant.

If a third coolant is used, temperature rise shall be measured above the temperature of the primary or secondary coolant as specified in Table 5.

NOTE A machine may be so arranged and cooled that more than one item of Table 5 applies, in which case different reference coolants may apply for different windings.

8.3 Conditions for thermal tests

8.3.1 Electrical supply

During thermal testing of an AC machine the *HVF* of the supply shall not exceed 0,015 and the negative-sequence component of the system of voltages shall be less than 0,5 % of the positive-sequence component, the influence of the zero-sequence component being eliminated.

During thermal tests done at full load of machines with a rated voltage up to 1000 V, the average supply frequency shall be within $\pm 0,1$ % of the rated frequency, the average supply voltages shall be within $\pm 0,5$ % of the rated voltage and the average load shall not be less than the rated power for the test being conducted.

NOTE For machines with a rated voltage above 1 000 V, the thermal test can be made without the restrictions in voltage and frequency accuracy due to equipment limitations.

By agreement, the negative-sequence component of the system of currents may be measured instead of the negative-sequence component of the system of voltages. The negative-sequence component of the system of currents shall not exceed 2,5 % of the positive-sequence component.

8.3.2 Temperature of machine before test

If the temperature of a winding is to be determined from the increase of resistance, the initial winding temperature shall not differ from the coolant by more than 2 K.

When a machine is to be tested on a short-time rating (duty type S2) its temperature at the beginning of the thermal test shall be within 5 K of the temperature of the coolant.

8.3.3 Temperature of coolant

A machine may be tested at any convenient value of coolant temperature. See Table 12 (for indirect cooled windings) or Table 15 (for direct cooled windings).

8.3.4 Measurement of coolant temperature during test

8.3.4.1 General

The value to be adopted for the temperature of a coolant during a test shall be the mean of the readings of the temperature detectors taken at equal intervals of time during the last quarter of the duration of the test. To reduce errors due to the time lag of the change of temperature of large machines following variations in the temperature of the coolant, all reasonable precautions shall be taken to minimize such variations.

8.3.4.2 Closed machines without heat exchangers (cooled by surrounding ambient air or gas)

The temperature of the ambient air or gas shall be measured by means of several detectors placed at different points around and halfway up the machine at 1 m to 2 m from it. Each detector shall be protected from radiant heat and draughts.

8.3.4.3 Open machines and machines cooled by air or gas from a remote source through ventilation ducts and machines with separately mounted heat exchangers

The temperature of the primary coolant shall be measured where it enters the machine.

8.3.4.4 Closed machines with machine-mounted or internal heat exchangers

The temperature of the primary coolant shall be measured where it enters the machine. The temperature of the secondary coolant shall be measured where it enters the heat exchanger.

8.4 Temperature rise of a part of a machine

The temperature rise, $\Delta\theta$, of a part of a machine is the difference between the temperature of that part measured by the appropriate method in accordance with 8.5, and the temperature of the coolant measured in accordance with 8.3.4.

For comparison with the limits of temperature rise (see Table 8 or Table 9) or of temperature (see Table 13), when possible, the temperature shall be measured immediately before the machine is shut down at the end of the thermal test, as described in 8.7.

When this is not possible, for example, when using the direct measurement of resistance method, see 8.6.2.3.

For machines tested on actual periodic duty (duty types S3 to S8) the temperature at the end of the test shall be taken as that at the middle of the rise period causing the greatest heating in the last cycle of operation (but see also 8.7.3).

8.5 Methods of measurement of temperature

8.5.1 General

Three methods of measuring the temperature of windings and other parts are recognized:

- resistance method;
- embedded temperature detector (ETD) method;
- thermometer method.

Different methods shall not be used as a check upon one another.

For indirect testing, see IEC 60034-29.

8.5.2 Resistance method

The temperature of the windings is determined from the increase of the resistance of the windings.

8.5.3 Embedded temperature detector (ETD) method

The temperature is determined by means of temperature detectors (e.g. resistance thermometers, thermocouples or semi-conductor negative coefficient detectors) built into the machine during construction, at points which are inaccessible after the machine is completed.

8.5.4 Thermometer method

The temperature is determined by thermometers applied to accessible surfaces of the completed machine. The term 'thermometer' includes not only bulb-thermometers, but also non-embedded thermocouples and resistance thermometers. When bulb-thermometers are used in places where there is a strong varying or moving magnetic field, alcohol thermometers shall be used in preference to mercury thermometers.

8.6 Determination of winding temperature

8.6.1 Choice of method

In general, for measuring the temperature of the windings of a machine, the resistance method in accordance with 8.5.2 shall be applied (but see also 8.6.2.3.3).

For AC stator windings of machines having a rated output of 5 000 kW (or kVA) or more the ETD method shall be used.

NOTE If agreed between manufacturer and customer, the resistance method may be used also for machines having a rated output of 5 000 kW (or kVA).

For AC stator windings of machines having a rated output less than 5 000 kW (or kVA) but greater than 200 kW (or kVA), the manufacturer shall choose either the resistance or the ETD method, unless otherwise agreed.

For AC stator windings of machines having a rated output less than or equal to 200 kW (or kVA) the manufacturer shall choose the direct measurement version or the superposition version of the resistance method (see 8.6.2.1), unless otherwise agreed (but see also below).

For machines having a rated output less than or equal to 600 W (or VA), when the windings are non-uniform or severe complications are involved in making the necessary connections, the temperature may be determined by means of thermometers. Temperature rise limits in accordance with Table 8, item 1d) for resistance method shall apply.

The thermometer method is recognized in the following cases:

- a) when it is not practicable to determine the temperature rise by the resistance method as, for example, with low-resistance commutating coils and compensating windings and, in general, in the case of low-resistance windings, especially when the resistance of joints and connections forms a considerable proportion of the total resistance;
- b) single layer windings, rotating or stationary;
- c) during routine tests on machines manufactured in large numbers.

For AC stator windings having only one coil-side per slot, the ETD method shall not be used for verifying compliance with this document: the resistance method shall be used.

For checking the temperature of such windings in service, an embedded detector at the bottom of the slot is of little value because it gives mainly the temperature of the iron core. A detector placed between the coil and the wedge will follow the temperature of the winding much more closely and is, therefore, better for checks in service. Because the temperature there may be rather low, the relation between it and the temperature measured by the resistance method should be determined by a thermal test.

For other windings having one coil-side per slot and for end windings, the ETD method shall not be used for verifying compliance with this document.

For windings of armatures having commutators and for field windings, the resistance method is recognized. For stationary field windings of DC machines having more than one layer the ETD method may be used.

8.6.2 Determination by resistance method

8.6.2.1 Measurement

One of the following versions of the method shall be used:

- direct measurement at the beginning and the end of the test, using an instrument having a suitable range;
- measurement by DC current/voltage in DC windings, by measuring the current in and the voltage across the winding, using instruments having suitable ranges;
- measurement by DC current/voltage in AC windings, by injecting direct current into the winding when de-energized;
- measurement by DC current/voltage in AC windings, by superposing small amount of DC current into the winding, when energized.

8.6.2.2 Calculation

The temperature rise, $\theta_2 - \theta_a$, may be obtained from the formula:

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1}$$

where

θ_1 is the temperature (°C) of the winding (cold) at the moment of the initial resistance measurement;

θ_2 is the temperature (°C) of the winding at the end of the thermal test;

θ_a is the temperature (°C) of the coolant at the end of the thermal test;

R_1 is the resistance of the winding at temperature θ_1 (cold);

R_2 is the resistance of the winding at the end of the thermal test;

k is the reciprocal of the temperature coefficient of resistance at 0 °C of the conductor material.

For copper $k = 235$.

For aluminium $k = 225$, unless specified otherwise.

For practical purposes, the following alternative formula may be found convenient:

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

8.6.2.3 Correction for stopping time

8.6.2.3.1 General

The measurement of temperatures at the end of the thermal test by the direct measurement resistance method requires a quick shutdown. A carefully planned procedure and an adequate number of people are required.

8.6.2.3.2 Short stopping time

If the initial resistance reading is obtained within the time interval specified in Table 6, that reading shall be accepted for the temperature measurement.

Table 6 – Time interval

Rated output (P_N)	Time interval after switching off power
kW or kVA	s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	By agreement

8.6.2.3.3 Extended stopping time

If a resistance reading cannot be made in the time interval specified in Table 6, it shall be made as soon as possible but not after more than twice the interval specified in Table 6, and additional readings shall be taken at intervals of approximately 1 min until these readings have begun a distinct decline from their maximum value. A curve of these readings shall be plotted as a function of time and extrapolated to the appropriate time interval of Table 6 for the rated output of the machine. A semi-logarithmic plot is recommended where temperature or resistance is plotted on the logarithmic scale. The value of temperature thus obtained shall be considered as the temperature at shutdown. If successive measurements show increasing temperatures after shutdown the highest value shall be taken.

If a resistance reading cannot be made until after twice the time interval specified in Table 6, this method of correction shall only be used by agreement.

8.6.2.3.4 Windings with one coil-side per slot

For machines with one coil-side per slot, the resistance method by direct measurement may be used if the machine comes to rest within the time interval specified in Table 6. If the machine takes more than 90 s to come to rest after switching off the power, the superposition method (see 8.6.2.1) may be used if previously agreed.

8.6.3 Determination by ETD method

8.6.3.1 General

The detectors shall be suitably distributed throughout the winding and the number of detectors installed shall be not less than six.

All reasonable efforts, consistent with safety, shall be made to place the detectors at the points where the highest temperatures are likely to occur, in such a manner that they are effectively protected against contact with the primary coolant.

The highest reading from the ETD elements shall be used to determine the temperature of the winding.

ETD elements or their connections may fail and give incorrect readings. Therefore, if one or more readings are shown to be erratic, after investigation they should be eliminated.

8.6.3.2 Two or more coil-sides per slot

The detectors shall be located between the insulated coil-sides within the slot in positions at which the highest temperatures are likely to occur.

8.6.3.3 One coil-side per slot

The detectors shall be located between the wedge and the outside of the winding insulation in positions at which the highest temperatures are likely to occur, but see also 8.6.1.

8.6.3.4 End windings

The temperature detectors shall be located between two adjacent coil-sides within the end windings in positions where the highest temperatures are likely to occur. The sensing point of each detector shall be in close contact with the surface of a coil-side and be adequately protected against the influence of the coolant, but see also 8.6.1.

When placing a temperature detector in the end windings of high voltage machines, care shall be taken that the stress grading of the insulation is not compromised and that the difference of potential along the winding overhang does not cause problems. In addition, the ground of the measuring system is thus directly capacitive coupled to the HV-system. Disconnection of the measurement ground will in this case immediately lead to over voltages on the measuring system. Measures have to be taken to prevent consequential damage up to lethal injuries.

NOTE If the stator winding is a direct liquid cooled bar type, a temperature detector installed in the nozzle area of each bar monitoring water outlet temperature can give an indication of conductor strand cooling passage blocking.

8.6.4 Determination by thermometer method

All reasonable efforts, consistent with safety, shall be made to place thermometers at the point, or points where the highest temperatures are likely to occur (e.g. in the end windings close to the core iron) in such a manner that they are effectively protected against contact with the primary coolant and are in good thermal contact with the winding or other part of the machine.

The highest reading from any thermometer shall be taken to be the temperature of the winding or other part of the machine.

8.7 Duration of thermal tests

8.7.1 Rating for continuous running duty

The test shall be continued until thermal equilibrium has been reached.

8.7.2 Rating for short-time duty

The duration of the test shall be the time given in the rating.

8.7.3 Rating for periodic duty

Normally the rating for equivalent loading assigned by the manufacturer (see 5.2.6) shall be applied until thermal equilibrium has been reached. If a test on the actual duty is agreed, the load cycle specified shall be applied and continued until practically identical temperature cycles are obtained. The criterion for this shall be that a straight line between the corresponding points of successive duty cycles on a temperature plot has a gradient of less than 1 K per half hour. If necessary, measurements shall be taken at reasonable intervals over a period of time (see 3.25).

8.7.4 Ratings for non-periodic duty and for duty with discrete constant loads

The rating for equivalent loading assigned by the manufacturer (see 5.2.6) shall be applied until thermal equilibrium has been reached.

8.8 Determination of the thermal equivalent time constant for machines of duty type S9

The thermal equivalent time constant with ventilation as in normal operating conditions, suitable for approximate determination of the temperature course, can be determined from the cooling curve plotted in the same manner as in 8.6.2.3. The value of the time constant is 1,44 times (that is to say, $1/\ln(2)$ times) the time taken by the machine to cool to one-half of the full load temperature rise, after its disconnection from the supply.

8.9 Measurement of bearing temperature

Either the thermometer method or the ETD method may be used.

The measuring point shall be as near as possible to one of the two locations specified in Table 7.

Table 7 – Measuring points

Type of bearing	Measuring point	Location of measuring point
Ball or roller	A	In the bearing housing preferably in contact with the outer ring of the bearing, but not more than 10 mm ^a from it ^b
	B	Outer surface of the bearing housing as close as possible to the outer ring of the bearing
Sleeve or tilting pad	A	In the pressure zone of the bearing shell ^c and not more than 10 mm ^a from the oil-film gap ^b .
	B	Elsewhere in the bearing shell
^a The distance is measured to the nearest point of the ETD or thermometer bulb. ^b In the case of an 'inside out' machine, point A will be in the stationary part not more than 10 mm from the inner ring and point B on the outer surface of the stationary part as close as possible to the inner ring. ^c The bearing shell is the part supporting the bearing material and which is secured in the housing. The pressure zone is the portion of the circumference which supports the combination of rotor weight and radial loads.		

The thermal resistance between the temperature detector and the object whose temperature is to be measured shall be minimized; for example, air gaps shall be packed with thermally conducting paste.

NOTE Between the measuring points A and B, as well as between these points and the hottest point of the bearing, there are temperature differences which depend, among other things, on the bearing size. For sleeve bearings with pressed-in bushings and for ball and roller bearings with an inside diameter of up to 150 mm, the temperature difference between points A and B may be assumed to be negligible. In the case of larger bearings, the temperature difference between measuring points A and B is approximately 15 K.

8.10 Limits of temperature and of temperature rise

8.10.1 General

Limits are given for operation under site operating conditions specified in Clause 6 and at rating for continuous running duty (reference conditions), followed by rules for the adjustment of those limits when operating at site under other conditions and on other ratings. Further rules give adjustments to the limits during thermal testing when conditions at the test site differ from those at the operating site.

It is understood that the temperature of the hottest point of each winding under reference conditions, i.e. the rated conditions, generally does not exceed the agreed thermal class temperature of the insulation system.

The limits are stated relative to the reference coolant specified in Table 5.

A rule is given to allow for the purity of hydrogen coolant.

8.10.2 Indirect cooled windings

Temperature rises under reference conditions shall not exceed the limits given in Table 8 (air coolant) or Table 9 (hydrogen coolant) as appropriate for both, ETD and R method if applicable.

NOTE The measured temperature differences between method ETD and method R may be significantly higher or lower than the temperature limits specified in Table 8 or Table 9, depending on the machine design and the cooling system. It is not intended to compare ETD and R method against each other.

For other operating site conditions, for ratings other than continuous running duty, and for rated voltages greater than 12 000 V, the limits shall be adjusted according to Table 10. (See also Table 11 for limit on coolant temperature which is assumed in Table 10.)

In the case of thermometer readings made in accordance with 8.6.1, the limit of temperature rise shall be according to Table 8.

If, for windings indirectly cooled by air, conditions at the test site differ from those at the operating site, the adjusted limits given in Table 12 shall apply at the test site.

If the adjusted limits given in Table 12 lead to permissible temperatures at the test site which the manufacturer considers to be excessive, the testing procedure and the limits shall be agreed.

If temperature rise is to be measured above the temperature of the water where it enters the cooler, the effect of altitude on the temperature difference between air and water should strictly be allowed for. However, for most cooler designs, the effect will be small, the difference increasing with increasing altitude at the rate of roughly 2 K per 1 000 m. If an adjustment is necessary, it should be by agreement.

No adjustments at the test site are given for windings indirectly cooled by hydrogen, because it is very unlikely that they will be tested at rated load anywhere other than at the operating site.

Table 8 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by air

Method of measurement		Thermal class											
		130 (B)			155 (F)			180 (H)			200 (N)		
Item	Part of machine	Th	R	ETD	Th	R	ETD	Th	R	ETD	Th	R	ETD
1a)	AC windings of machines having outputs of 5 000 kW (or kVA) or more	–	80	85 ^a	–	105	110 ^a	–	125	130 ^a	–	145	150 ^a
1b)	AC windings of machines having outputs above 200 kW (or kVA), but less than 5 000 kW (or kVA)	–	80	90 ^a	–	105	115 ^a	–	125	140 ^a	–	145	160 ^a
1c)	AC windings of machines having outputs of 200 kW (or kVA) or less, other than those in items 1d) or 1e) ^b	–	80	–	–	105	–	–	125	–	–	145	–
1d)	AC windings of machines having rated outputs of less than 600 W (or VA) ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–	–	150	–
1e)	AC windings which are self-cooled without a fan (IC 40) and/or with encapsulated windings ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–	–	150	–
2	Windings of armatures having commutators	70	80	–	85	105	–	105	125	–	125	145	–
3	Field windings of AC and DC machines other than those in item 4	70	80	–	85	105	–	105	125	–	125	145	–
4a)	Field windings of synchronous machines with cylindrical rotors having a DC excitation winding embedded in slots, except synchronous induction motors	–	90	–	–	115	–	–	135	–	–	155	–
4b)	Insulated stationary field windings of DC machines having more than one layer	70	80	90	85	105	115	105	125	140	125	145	160
4c)	Low-resistance field windings of DC machines having more than one layer and compensating windings of DC machines	80	80	–	100	105	–	125	125	–	145	145	–
4d)	Single-layer windings of AC and DC machines with exposed bare or varnished metal surfaces ^c	90	90	–	110	115	–	135	135	–	155	155	–

^a For adjustment for high-voltage AC windings, see item 4 of Table 10.

^b With the application of the superposition test method to windings of machines rated at 200 kW (or kVA) or less with thermal classes 130 (B) and 155 (F), the limits of temperature rise given for the resistance method may be exceeded by 5 K.

^c Also includes multiple layer windings, provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.

Table 9 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by hydrogen

Thermal class		130 (B)		155 (F)	
Method of measurement ETD = Embedded temperature detector		Resistance K	ETD K	Resistance K	ETD K
Item					
1	AC windings of machines having outputs of 5 000 kW (or kVA) or more or having a core length of 1 m or more Absolute hydrogen pressure ^b				
	≤ 150 kPa (1,5 bar)	–	85 ^a	–	105 ^a
	> 150 kPa ≤ 200 kPa (2,0 bar)	–	80 ^a	–	100 ^a
	> 200 kPa ≤ 300 kPa (3,0 bar)	–	78 ^a	–	98 ^a
	> 300 kPa ≤ 400 kPa (4,0 bar)	–	73 ^a	–	93 ^a
	> 400 kPa	–	70 ^a	–	90 ^a
2a	AC windings of machines having outputs of less than 5 000 kW (or kVA), or having a core length of less than 1 m	80	85 ^a	100	110 ^a
2b	DC field windings of AC and DC machines other than those in items 3 and 4	80	–	105	–
3	DC field windings of machines having cylindrical rotors	85	–	105	–
4a	Low-resistance field windings of more than one layer and compensating windings	80	–	100	–
4b	Single-layer windings with exposed bare or varnished metal surfaces ^c	90	–	110	–
^a For adjustment for high-voltage AC windings, see item 4 of Table 10. ^b This is the only item where the limit of temperature rise is dependent on hydrogen pressure. ^c Also includes multi-layer field windings provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.					

Table 10 – Adjustments to limits of temperature rise at the operating site of indirect cooled windings to take account of non-reference operating conditions and ratings

Item	Operation conditions or rating	Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Table 8 and Table 9	Item
1a	<p>Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at inlet to the machine (θ_c) and for altitudes of up to 1 000 m.</p> <p>If the difference between the thermal class and the observable limit of temperature, consisting of the sum of the reference cold coolant inlet temperature of 40 °C and the limit of temperature rise according to Table 8 and Table 9 is less or equal to 5 K:</p> <p>For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 11.</p>	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C.
1b	<p>Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at the inlet to the machine (θ_c) and for altitudes of up to 1 000 m.</p> <p>If the difference between the thermal class and the observable limit of the temperature, consisting of the sum of the reference cold coolant inlet temperature of 40 °C and the limit of temperature rise according to Table 8 and Table 9 is larger than 5 K:</p> <p>For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 11.</p>	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	<p>The limit of temperature rise $\Delta\theta$ for cold gas temperature θ_c shall be</p> $\Delta\theta = \Delta\theta_{\text{ref}} \frac{\theta_{\text{ThCl}} - \theta_c}{\theta_{\text{ThCl}} - \theta_{\text{C-ref}}}$ <p>where</p> <p>$\Delta\theta_{\text{ref}}$ is the limit of temperature rise according to Table 8 or Table 9 at 40 °C;</p> <p>θ_{ThCl} is the temperature of the thermal class (for example 130 °C or 155 °C);</p> <p>$\theta_{\text{C-ref}}$ is the reference cold coolant temperature (40 °C).</p>
1c		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Reduced by the amount by which the coolant temperature exceeds 40 °C
1d		$\theta_c < 0\text{ °C}$ or $\theta_c > 60\text{ °C}$	By agreement

Item	Operation conditions or rating	Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Table 8 and Table 9	Item
2	Maximum temperature of the water at the inlet to water-cooled heat exchangers or maximum temperature of the ambient water for submersible machines with surface cooling or machines with water jacket cooling (θ_w)	$5\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_w \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	Increased by 15 K and by the difference between $25\text{ }^\circ\text{C}$ and θ_w
		$\theta_w > 25\text{ }^\circ\text{C}$	Increased by 15 K and reduced by the difference between θ_w and $25\text{ }^\circ\text{C}$
3a	Altitude (H) – general rule	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ and maximum ambient air temperature not specified	No adjustment. It shall be assumed that the reduced cooling resulting from altitude is compensated by a reduction of maximum ambient temperature below $40\text{ }^\circ\text{C}$ and that the total temperature will therefore not exceed $40\text{ }^\circ\text{C}$ plus the Table 8 and Table 9 temperature rises ^a
		$H > 4\ 000\text{ m}$	By agreement
3b	Altitude (H) – power plant generator specific	according specification of the purchaser	The capability of power plant generators should be adjusted and is a function of the altitude (air pressure). No adjustment of the capability is needed for power plant generators if the absolute coolant pressure is maintained constant regardless of the altitude.
4	Rated stator winding voltage (U_N)	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ for embedded temperature detectors (ETD) shall be reduced by 1 K for each 1 kV (or part thereof) from 12 kV up to and including 24 kV
		$U_N > 24\text{ kV}$	By agreement
5 ^b	Rating for short-time duty (S2), with rated output less than 5 000 kW (kVA)		Increased by 10 K
6 ^b	Rating for non-periodic duty (S9)		$\Delta\theta$ may be exceeded for short periods during the operation of the machine
7 ^b	Rating for duty with discrete loads (S10)		$\Delta\theta$ may be exceeded for discrete periods during the operation of the machine
^a Assuming the decrease in ambient temperature is 1 % of the limiting rises for every 100 m of altitude above 1 000 m, the maximum ambient air temperature at the operating site can be as shown in Table 11.			
^b For air-cooled windings only.			

Table 11 – Assumed maximum ambient temperature

Altitude m	Thermal class			
	130 (B)	155 (F)	180 (H)	200 (N)
	Temperature °C			
1 000	40	40	40	40
2 000	32	30	28	26
3 000	24	19	15	12
4 000	16	9	3	0

8.10.3 Direct cooled windings

Temperatures under reference conditions shall not exceed the limits given in Table 13.

For other operating site conditions the limits shall be adjusted according to Table 14.

If conditions at the test site differ from those at the operating site, the adjusted limits given in Table 15 shall apply at the test site.

If the adjusted limits given in Table 15 lead to temperatures at the test site which the manufacturer considers to be excessive, the testing procedure and the limits shall be agreed.

8.10.4 Adjustments to take account of hydrogen purity on test

For windings directly or indirectly cooled by hydrogen, no adjustment shall be made to limits of temperature rise or of total temperature if the proportion of hydrogen in the coolant is between 95 % and 100 %.

8.10.5 Permanently short-circuited windings, magnetic cores and all structural components (other than bearings) whether or not in contact with insulation

The temperature rise or the temperature shall not be detrimental to the insulation of that part or to any other part adjacent to it.

8.10.6 Commutators and sliprings, open or enclosed and their brushes and brushgear

The temperature rise or temperature of any commutator, slipring, brush or brushgear shall not be detrimental to the insulation of that part or any adjacent part.

The temperature rise or temperature of a commutator or slipring shall not exceed that at which the combination of brush grade and commutator or slipring material can handle the current over the full operating range.

**Table 12 – Adjusted limits of temperature rise at the test site ($\Delta\theta_T$)
for windings indirectly cooled by air to take account of
test site operating conditions**

Item	Test condition		Adjusted limit at test site $\Delta\theta_T$
1	Temperature difference of reference coolant at test site (θ_{cT}) and operating site (θ_c)	Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30$ K	$\Delta\theta_T = \Delta\theta$
		Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30$ K	By agreement
2	Difference of altitudes of test site (H_T) and operating site (H)	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $H_T \leq 1\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 - \frac{H - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$H \leq 1\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - H}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$H > 4\ 000\text{ m}$ or $H_T > 4\ 000\text{ m}$	By agreement
NOTE $\Delta\theta$ is given in Table 8 and adjusted if necessary in accordance with Table 10.			

Table 13 – Limits of temperature of directly cooled windings and their coolants

Thermal class		130 (B)			155 (F)		
Method of measurement		Thermo- meter °C	Resistance °C	ETD °C	Thermo- meter °C	Resistance °C	ETD °C
Item	Part of the machine						
1	Coolant at the outlet of direct-cooled AC windings. These temperatures are preferred to the values given in item 2 as the basis of rating.						
1a)	Gas (air, hydrogen, helium, etc.)	110	–	–	130	–	–
1b)	Liquid (water, oil, etc.)	90	–	–	90	–	–
2	AC windings						
2a)	Gas cooled	–	} –	120 ^a	–	–	145 ^a
2b)	Liquid or evaporative cooled						
3	Field windings of turbine type machines						
3a)	Cooled by gas leaving the rotor through the following number of outlet regions ^b						
	1 and 2	–	100	–	–	115	–
	3 and 4	–	105	–	–	120	–
	5 and 6	–	110	–	–	125	–
	7 to 14	–	115	–	–	130	–
	above 14	–	120	–	–	135	–
3b)	Liquid or evaporative cooled	Observance of the maximum coolant temperature given in item 1b) will ensure that the hotspot temperature of the winding is not excessive					
4	Field windings of AC and DC machines having DC excitation other than in item 3.						
4a)	Gas cooled	–	130	–	–	150	–
4b)	Liquid or evaporative cooled	Observance of the maximum coolant temperature given in item 1b) will ensure that the hotspot temperature of the winding is not excessive					
^a No adjustment in the case of high-voltage AC windings is applicable to these items, see Table 14, item 2.							
^b The rotor ventilation is classified by the number of radial outlet regions on the total length of the rotor. Special outlet regions for the coolant of the end windings are included as one outlet for each end. The common outlet region of two axially opposed flows is to be counted as two regions.							

Table 14 – Adjustments to limits of temperature at the operating site for windings directly cooled by air or hydrogen to take account of non-reference operating conditions and ratings

Item	Operating condition or rating	Adjustment to limit of temperature in Table 13	
1	Temperature θ_c of reference coolant	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Reduction by the amount of the difference between 40 °C and θ_c . However, by agreement, a smaller reduction may be applied, provided that for $\theta_c < 10\text{ °C}$ the reduction is made at least equal to the difference between 10 °C and θ_c .
		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	No adjustment
		$\theta_c < 0\text{ °C}$ or $\theta_c > 60\text{ °C}$	By agreement
2	Rated stator winding voltage (U_N)	$U_N > 11\text{ kV}$	No adjustment The heat flow is mainly towards the coolant inside the conductors and not through the main insulation of the winding.

Table 15 – Adjusted limits of temperature at the test site θ_T for windings directly cooled by air to take account of test site operating conditions

Item	Test condition		Adjusted limit of temperature at test site θ_T
1	Difference of reference coolant temperatures of test site (θ_{cT}) and operating site (θ_c)	Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30$ K	$\theta_T = \theta$
		Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30$ K	By agreement
2	Difference of altitudes of test site (H_T) and operating site (H)	$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $H_T \leq 1\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 - \frac{H - 1000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H \leq 1\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - 1000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H > 4\,000\text{ m}$ or $H_T > 4\,000\text{ m}$	By agreement
NOTE θ is given in Table 13 and adjusted if necessary in accordance with Table 14.			

9 Other performance and tests

9.1 Routine tests

Routine tests are always factory tests. They shall be performed on all machines which are assembled at the factory of the manufacturer. The machines need not be completely assembled. They can lack components which are not significant for the testing. Routine tests do not need the machines to be coupled except for the open-circuit test on synchronous machines.

The minimum test schedule is listed in Table 16 and is applicable for machines with rated output ≤ 20 MW (MVA) that are assembled and tested in the factory. Additional routine tests may be performed especially on machines with ratings above 200 kW (kVA). The term synchronous machines includes brushless permanent magnet machines.

For DC machines, depending on size and design, a commutation test under load may be performed as a routine test.

Table 16 – Minimum routine tests for machines assembled and tested in the factory of the manufacturer

Item	Test	Induction machines (including synchronous induction machines) ^a	Electrically excited synchronous machines	Synchronous reluctance machines and PM excited synchronous machines	DC machines with separate or shunt excitation
1	Resistance of windings (cold)	Yes	Yes	Yes	Yes
2	No-load losses and current ^d	Yes	–	Yes	–
3a	No-load losses at unity power factor ^c	–	Yes ^c	–	–
3b	No-load excitation current at rated voltage by open-circuit test ^c	–	Yes ^c	–	–
4	Excitation current at rated speed and rated armature voltage	–	–	–	Yes
5	Open circuit secondary induced voltage at standstill (wound rotor) ^b	Yes	–	–	–
6	Direction of rotation (motors) or phase sequence (generators)	Yes	Yes	Yes	Yes
7	Withstand voltage test according to 9.2	Yes	Yes	Yes	Yes

^a IEC 60050-411:1996, 411-33-04.
^b For safety considerations this test may be performed at reduced voltage.
^c Only one of the tests 3a or 3b is required.
^d No stabilization of temperature required for measurement of no-load losses.

9.2 Withstand voltage test

A test voltage, as specified below, shall be applied between the windings under test and the frame of the machine, with the core and the windings not under test connected to the frame. It shall be applied only to a new and completed machine with all its parts in place under conditions equivalent to normal working conditions and shall be carried out at the manufacturer's factory or after erection on site. A withstand voltage test shall be carried out after the completion of the full test sequence.

For equipment manufactured for stock holding, the withstand voltage test carried out for acceptance on completion of manufacture remains valid and shall not be repeated provided the test voltage is equal to, or greater than, the test voltage given in Table 17 based on the rated voltage noted on the rating plate.

NOTE 1 For high voltage machines, additional methods as described in the parts of IEC 60034-27 can be used to prove the suitability of the machine winding insulation system.

Except as stated below, the frequency of the test voltage shall be the power frequency at the factory of the manufacturer, and the voltage waveform shall be as near as possible to a sine wave form. The final value of the voltage shall be in accordance with Table 17. However, for machines with a rated voltage 6 kV or greater, when power frequency equipment is not available, then by agreement a DC test may be carried out at a voltage 1,7 times the r.m.s. value given in Table 17.

NOTE 2 It is recognized that, during a DC test, the surface potential distribution along the end winding insulation and the ageing mechanisms are different from those occurring during an AC test.

In the case of polyphase machines with rated voltage above 1 kV having both ends of each phase individually accessible, the test voltage shall be applied between each phase and the frame, with the core and the other phases and windings not under test connected to the frame. The test shall be commenced at a voltage not exceeding half of the full test voltage. The voltage shall then be increased to the full value, steadily or in steps of not more than 5 % of the full value, the time allowed for the voltage increase from half to full value being not less than 10 s. The full test voltage shall then be maintained for 1 min in accordance with the value as specified in Table 17. The voltage test equipment shall be capable of maintaining the test voltage throughout the test within $\pm 5\%$ of the specified value. There shall be no failure (see IEC 60060-1) during this period.

During the routine testing of quantity produced machines up to 200 kW (or kVA) and rated for $U_N \leq 1$ kV, the 1 min test may be replaced by a test of 1 s at 120 % of the test voltage specified in Table 17. In the case applying this for very small sized machines rated up to 1 kW (or kVA) with IVIC C or D assigned (item 2b in Table 17), 120 % of the test voltage according to item 2b in Table 17 (i. e. including the test voltage factor according to Table 18) for 1s may be too excessive. In this case, 100 % of the test voltage specified in Table 17 can be used for 1 s test.

The withstand voltage test at full voltage made on the windings on acceptance shall not be repeated. If, however, a second test is made at the request of the purchaser, after further drying if considered necessary, the test voltage shall be 80 % of the voltage specified in Table 17.

To determine the test voltage from Table 17 for DC motors supplied by static power converters, the direct voltage of the motor or the r.m.s. phase-to-phase value of the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter shall be used, whichever is the greater.

Voltage variation according to 7.3 should not be considered when determining the test voltage.

For variable speed AC machines that are subjected to impulse voltages during operation having assigned an Impulse Voltage Insulation Class (IVIC) according to IEC 60034-18-41 or IEC60034-18-42, the test voltage shall be chosen according to the IVIC of its insulation system as defined in IEC 60034-18-41 or IEC 60034-18-42, respectively (see item 2b in Table 17).

Completely rewound windings shall be tested at the full test voltage for new machines.

When a user and a repair contractor have agreed to carry out withstand voltage tests in cases where windings have been partially rewound or in the case of an overhauled machine, the following procedure is recommended:

- a) Partially rewound windings are tested at 75 % of the test voltage for a new machine. Before the test, the old part of the winding shall be carefully cleaned and dried.
- b) Overhauled machines, after cleaning and drying, are subjected to a test at a voltage equal to 1,5 times the rated voltage, with a minimum of 1 000 V if the rated voltage is equal to or greater than 100 V and a minimum of 500 V if the rated voltage is less than 100 V.

Table 17 – Withstand voltage tests

Item	Machine or part	Test voltage ^e (r.m.s.)
1	Insulated windings of rotating machines of rated output less than 1 kW (or kVA) and of rated voltage less than 100 V with the exception of those in items 4 to 8	500 V + twice the rated voltage
2	Insulated windings of rotating machines of rated output less than 10 000 kW (or kVA) with the exception of those in item 1 and items 4 to 8 ^b	
2a)	for sinusoidal supply or for frequency converter supply with the exception of those in item 2b	1 000 V + twice the rated voltage with a minimum of 1 500 V ^a
2b)	with an IVIC assigned according to IEC 60034-18-41 or IEC 60034-18-42, i.e. subjected to repetitive impulse voltages, such as those generated by pulse width modulation (PWM) voltage-source converters ^f	1 000 V + twice the rated voltage multiplied with the test voltage factor (TVF) according to Table 18, i.e. $1\,000\text{ V} + (2 \times U_N \times TVF)$
3	Insulated windings of rotating machines of rated output 10 000 kW (or kVA) or more with the exception of those in items 4 to 8 ^b Rated voltage ^a : - up to and including 24 000 V - above 24 000 V	1 000 V + twice the rated voltage Subject to agreement
4	Separately excited field windings of DC machines	1 000 V + twice the maximum rated circuit voltage with a minimum of 1 500 V
5	Field windings of synchronous generators, synchronous motors and synchronous compensators.	
5a)	Rated field voltage: - up to, and including 500 V, - above 500 V.	Ten times the rated field voltage with a minimum of 1 500 V 4 000 V + twice the rated field voltage
5b)	When a machine is intended to be started with the field winding short-circuited or connected across a resistance of value less than ten times the resistance of the winding	Ten times the rated field voltage with a minimum of 1 500 V and a maximum of 3 500 V.
5c)	When the machine is intended to be started either with the field winding connected across a resistance of value equal to, or more than, ten times the resistance of the winding, or with the field windings on open circuit with or without a field-dividing switch	1 000 V + twice the maximum value of the r.m.s. voltage, which can occur under the specified starting conditions, between the terminals of the field winding, or in the case of a sectionalized field winding between the terminals of any section, with a minimum of 1 500 V ^c
6	Secondary (usually rotor) windings of induction machines or synchronous induction motors if not permanently short-circuited (e.g. if intended for rheostatic starting)	
6a)	For non-reversing motors or motors reversible from standstill only	1 000 V + twice the open-circuit standstill voltage as measured between slip-rings or secondary terminals with rated voltage applied to the primary windings
6b)	For motors to be reversed or braked by reversing the primary supply while the motor is running	1 000 V + four times the open-circuit standstill secondary voltage as defined in item 6a)
7	Exciters (except as below) Exception 1: exciters of synchronous motors (including synchronous induction motors) if connected to earth or disconnected from the field windings during starting Exception 2: separately excited field windings of exciters (see item 4)	As for the windings to which they are connected 1 000 V + twice the rated exciter voltage, with a minimum of 1 500 V

Item	Machine or part	Test voltage ^e (r.m.s.)
8	Electrically interconnected machines and apparatus	A repetition of the tests in items 1 to 7 above should be avoided if possible, but if a test is performed on a group of machines and apparatus, each having previously passed its withstand voltage test, the test voltage to be applied to such an electrically connected arrangement shall be 80 % of the lowest test voltage appropriate for any individual piece of the arrangement ^d
9	Devices that are in physical contact with windings, for example, temperature detectors, shall be tested to the machine frame. During the withstand voltage test on the machine winding, all devices in physical contact with the winding shall be connected to the machine frame.	1 500 V
10	For devices used on extra-low voltage circuits with protective-separation, which are not used in explosive atmospheres, it is sufficient to connect them to the frame when performing the tests according to the previous items.	no test required

^a For two-phase windings having one terminal in common, the voltage in the formula shall be the highest r.m.s. voltage arising between any two terminals during operation.

^b Withstand tests on machines having graded insulation should be the subject of agreement.

^c The voltage occurring between the terminals of the field windings, or sections thereof, under the specified starting conditions, may be measured at any convenient reduced supply voltage, and the voltage so measured shall be increased in the ratio of the specified starting supply voltage to the test supply voltage.

^d For windings of one or more machines connected together electrically, the voltage to be considered is the maximum voltage that occurs in relation to earth.

^e The leakage current drawn by the machine during withstand voltage test will vary according to the size of the machine.

^f In case of an IVIC assigned, it is sufficient to test the phase-to-ground insulation only.

Table 18 – Test voltage factors for machines with an assigned Impulse Voltage Insulation Class (IVIC) according to IEC 60034-18-41 and IEC 60034-18-42

Windings within the scope of IEC 60034-18-41		Windings within the scope of IEC 60034-18-42	
IVIC phase-to-ground	Test voltage factor	IVIC phase-to-ground	Test voltage factor
A	1,0	1 to 4	1,0
B	1,0	5	1,2
C	1,3	6	1,3
D	1,7	7	1,5
S ^a	$\frac{Y}{2\sqrt{2}}$	S ^a	$\frac{Y}{2\sqrt{2}}$

^a In case of the manufacturer specified Impulse Voltage Insulation Class (IVIC) S, Y is the maximum allowable peak to peak operating value of the phase-to-ground voltage in units of the rated voltage U_N .

9.3 Occasional excess current

9.3.1 General

The excess current capability of rotating machines is given for the purpose of co-ordinating these machines with control and protective devices. Tests to demonstrate these capabilities are not a requirement of this document. The heating effect in the machine windings varies approximately as the product of the time and the square of the current. A current in excess of the rated current will result in increased temperature. Unless otherwise agreed, it can be assumed that the machine will not be operated at the excess currents specified for more than a few short periods during the lifetime of the machine. When an AC machine is to be used as both a generator and a motor, the excess current capability should be the subject of agreement.

NOTE For the capability of synchronous machines concerning the occasional negative-sequence component of current under fault conditions, see 7.2.3.

9.3.2 Generators

AC generators having rated outputs not exceeding 1 200 MVA shall be capable of withstanding a current equal to 1,5 times the rated current for not less than 30 s.

AC generators having rated outputs above 1 200 MVA shall be capable of withstanding a current equal to 1,5 times the rated current for a period which shall be agreed, but this period shall be not less than 15 s.

9.3.3 Motors (except commutator motors and permanent magnet motors)

Polyphase motors having rated outputs not exceeding 315 kW and rated voltages not exceeding 1 kV shall be capable of withstanding:

- a current equal to 1,5 times the rated current for not less than 2 min.

NOTE For polyphase motors having rated outputs above 315 kW and all single-phase motors, no occasional excess current is specified.

9.3.4 Commutator machines

A commutator machine shall be capable of withstanding, for 60 s, 1,5 times rated current under the appropriate combination of conditions as follows:

- a) speed:
 - 1) DC motor: highest full-field speed;
 - 2) DC generator: rated speed;
 - 3) AC commutator motor: highest full-field speed;
- b) armature voltage: that corresponding to the specified speed.

Attention should be given to the limits of commutation capability. The limits of commutation of a given DC machine are defined in IEC 60034-19.

9.4 Momentary excess torque for motors

9.4.1 Polyphase induction motors and DC motors

Motors, whatever their duty and construction, shall be capable of withstanding an excess torque of at least 60 % of their rated torque for 15 s without either stalling or exhibiting an abrupt change of speed (under gradual increase of torque). The voltage and frequency (for induction motors) shall be maintained at their rated values.

Higher torques are required for some motors manufactured according to IEC 60034-12.

For DC motors, the excess torque shall be expressed in terms of overload current.

Motors for duty type S9 shall be capable of withstanding momentarily an excess torque determined according to the duty specified.

For an approximate determination of the change in temperature due to the current-related losses, the thermal equivalent time constant determined according to 8.8 may be used.

Motors intended for specific applications that require a high torque (for example for hoisting) shall be the subject of agreement.

For cage-type induction motors specially designed to ensure a starting current of less than 4,5 times the rated current, the excess torque can be below the value of 60 % given in paragraph 1, but not less than 50 %, or the value of the excess torque shall be the subject of agreement.

In the case of special types of induction motors with special inherent starting properties, for example motors intended for use at variable frequency or induction motors supplied from static converters, the value of the excess torque shall be the subject of agreement.

9.4.2 Polyphase synchronous motors

Unless otherwise agreed, a polyphase synchronous motor, irrespective of the duty, shall be capable of withstanding an excess torque as specified below for 15 s without falling out of synchronism, the excitation being maintained at the value corresponding to rated load. When automatic excitation is used, the limits of torque shall be the same values with the excitation equipment operating under normal conditions:

- synchronous (wound rotor) induction motors: 35 % excess torque;
- synchronous (cylindrical rotor) motors: 35 % excess torque;
- synchronous (salient pole) motors: 50 % excess torque.

9.4.3 Other motors

The momentary excess torque and time for single-phase, commutator and other motors shall be the subject of agreement.

9.5 Pull-up torque and locked-rotor torque for cage induction motors with direct online starting

Unless otherwise specified (for example machines according to IEC 60034-12), the pull-up torque of cage induction motors under full voltage shall be not less than 0,3 times the rated torque. The locked rotor torque shall also not be less than 0,3 times the rated torque.

9.6 Safe operating speed of cage induction motors

All three-phase single-speed cage induction motors of frame number up to and including 315 and for voltages up to and including 1 000 V shall be capable of safe continuous operation at speeds up to the appropriate speed given in Table 19 unless otherwise stated on the rating plate.

Table 19 – Maximum safe operating speed (min^{-1}) of three-phase single-speed cage induction motors for voltages up to and including 1 000 V

Frame number	2 pole	4 pole	6 pole
≤ 100	5 200	3 600	2 400
112	5 200	3 600	2 400
132	4 500	2 700	2 400
160	4 500	2 700	2 400
180	4 500	2 700	2 400
200	4 500	2 300	1 800
225	3 600	2 300	1 800
250	3 600	2 300	1 800
280	3 600	2 300	1 800
315	3 600	2 300	1 800
NOTE The above values may have to be reduced to meet the requirements of IEC 60079.			

When operating at speeds above rated speed, for example, when used with adjustable speed controls, noise and vibration levels will increase. The user may require the manufacturer to fine balance the motor rotor for acceptable operation above rated speed. Bearing life may be reduced. Attention should be paid to the re-greasing intervals and the grease service life.

9.7 Overspeed

Machines shall be designed to withstand the speeds specified in Table 20.

An overspeed test is not normally considered necessary, but can be performed when this is specified and has been agreed. (For turbine-type AC generators, see also IEC 60034-3.) An overspeed test shall be considered as satisfactory if no permanent abnormal deformation is apparent subsequently, and no other weakness is detected which would prevent the machine from operating normally, and provided the rotor windings after the test comply with the required dielectric tests. The duration of any overspeed test shall be 2 min.

Due to settling of laminated rotor rims, laminated poles held by wedges or by bolts, etc., a minute permanent increase in the diameter is natural, and not to be considered as an abnormal deformation indicating that the machine is not suitable for normal operation.

During commissioning of a hydraulic-turbine driven synchronous generator, the machine shall be driven at the speed it can reach with the overspeed protection operating, so as to ascertain that the balance is satisfactory up to that speed.

Table 20 – Overspeeds

Item	Machine type	Overspeed
1	AC machines All machines other than those specified below:	1,2 times the maximum rated speed
1a)	Water-turbine driven generators, and any auxiliary machines connected directly (electrically or mechanically) to the main machine	Unless otherwise specified, the runaway speed of the set but not less than 1,2 times the maximum rated speed
1b)	Machines which may under certain circumstances be driven by the load	The specified runaway speed of the set but not less than 1,2 times the maximum rated speed.
1c)	Series and universal motors	1,1 times the no-load speed at rated voltage. For motors integrally attached to loads that cannot become accidentally disconnected, the words 'no-load speed' shall be interpreted to mean the lightest load condition possible with the load
1d)	Three-phase single-speed cage induction motors according to 9.6	1,2 times the maximum safe operating speed
2	DC machines	
2a)	Shunt and separately excited motor	1,2 times the highest rated speed or 1,15 times the corresponding no-load speed, whichever is greater
2b)	Compound excited motors having speed regulation of 35 % or less	1,2 times the higher rated speed or 1,15 times the corresponding no-load speed, whichever is greater but not exceeding 1,5 times the highest rated speed
2c)	Compound excited motors having speed regulation greater than 35 % and series motors	The manufacturer shall assign a maximum safe operating speed which shall be marked on the rating plate. The overspeed for these motors shall be 1,1 times the maximum safe operating speed. The safe operating speed marking is not required on motors that are capable of an overspeed of 1,1 times the no-load speed at rated voltage
2d)	Permanent-magnet excited motors	Overspeed as specified in item 2a) unless the motor has a series winding and, in such a case, they shall withstand the overspeeds specified in items 2b) or 2c) as appropriate
2e)	Generators	1,2 times the rated speed

9.8 Short-circuit current for synchronous machines

Unless otherwise specified, the peak value of the short-circuit current for synchronous machines, including turbine-type machines not covered by IEC 60034-3, in the case of short circuit on all phases during operation at rated voltage, shall not exceed 15 times the peak value or 21 times the r.m.s. value of the rated current.

Verification may be carried out by calculation or by means of a test at a voltage of 0,5 times the rated voltage or above.

9.9 Short-circuit withstand test for synchronous machines

The three-phase short-circuit test for synchronous machines shall be carried out only at the request of the purchaser. In this case, the test shall be carried out on the machine running on no-load with an excitation corresponding to the rated voltage unless otherwise agreed. The test shall not be carried out with an excitation greater than that corresponding to 1,05 times the rated voltage at no load.

The excitation for the test, as determined, may be reduced by agreement, in order to take into account the impedance of the transformer which may be placed between the machines and the system. In this latter case, it may also be agreed that the test be made at the operating site with the over-excitation device in operation. The short circuit shall be maintained for 3 s.

The test is considered satisfactory if no harmful deformation occurs and if the requirements of the applied voltage dielectric test (see Table 17) are met after the short-circuit test. For three-phase turbine-type machines, see IEC 60034-3.

9.10 Commutation test for commutator machines

A DC or AC commutator machine shall be capable of operating from no-load to operation with the excess current or excess torque, specified in 9.3 and 9.4 respectively, without permanent damage to the surface of the commutator or brushes and without injurious sparking, the brushes remaining in the same set position. If possible, the commutation test shall be performed in warm conditions.

NOTE Annex A of IEC 60276:2018 gives clarification on how to assess these criteria. In 8.3.2 of IEC 60034-19:2014, it is further specified that “Commutation is assessed by any means that the manufacturer considers reliable”.

9.11 Total harmonic distortion (*THD*) for synchronous machines

9.11.1 General

The requirements of this subclause apply only to synchronous machines having rated outputs of 300 kW (or kVA) or more, intended for connection to power networks operating at nominal frequencies of $16^{2/3}$ Hz to 100 Hz inclusive, with a view to minimizing interference caused by the machines.

9.11.2 Limits

When tested on open-circuit and at rated speed and voltage, the total harmonic distortion (*THD*) of the line-to-line terminal voltage, as measured according to the methods laid down in 9.11.3, shall not exceed 5 %.

NOTE Limiting values of individual harmonics are not specified as it is considered that machines which meet the above requirements will operate satisfactory.

9.11.3 Tests

Type tests shall be carried out on AC machines to verify compliance with 9.11.2. The range of frequencies measured shall cover all harmonics from rated frequency up to the 100th harmonic. Synchronous motors do not need to be measured.

Either the *THD* may be measured directly by means of a meter and associated network specially designed for the purpose, or each individual harmonic shall be measured and from the measured values the *THD* shall be computed using the following formula:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^k u_n^2}$$

where

u_n is the ratio of the line-to-line terminal voltage U_n of the harmonic n of the machine to the line-to-line terminal fundamental voltage U_1 of the machine;

n is the order of harmonic;

$k = 100$.

9.12 Protective earth test

In a type test of a machine with rated voltage not exceeding AC 1 000 V or DC 1 500 V, respectively, a protective earth test shall be performed in addition.

Machines with rated voltage not exceeding AC 1 000 V or DC 1 500 V, respectively, and with an earthing terminal require a protective earth type test to ensure sufficiently small internal resistances. If not defined by a different product standard, the type test can be done by determining the possible voltage drop between any point of the machine, which has the risk of coming into contact with live parts, and the earthing terminal. The test is considered successful, when the measured value of the resistance $R_{PE,M}$ between these two points does not exceed:

$$R_{PE,M} \leq 0,8 \cdot 30 \text{ V} / (K \cdot I_N) \text{ for AC circuits,}$$

$$R_{PE,M} \leq 0,8 \cdot 60 \text{ V} / (K \cdot I_N) \text{ for DC circuits,}$$

where

I_N is the rated current of the machine,

0,8 is a safety factor, and

K is a factor as shown in Figure 13.

The factor K is derived from the typical fuse size assigned to motors for direct online starting with a ratio of starting current to rated current of 10, multiplied by 2. This approach is valid for generators as well. For power ratings above 1 000 kW, $K = 3,4$ applies.

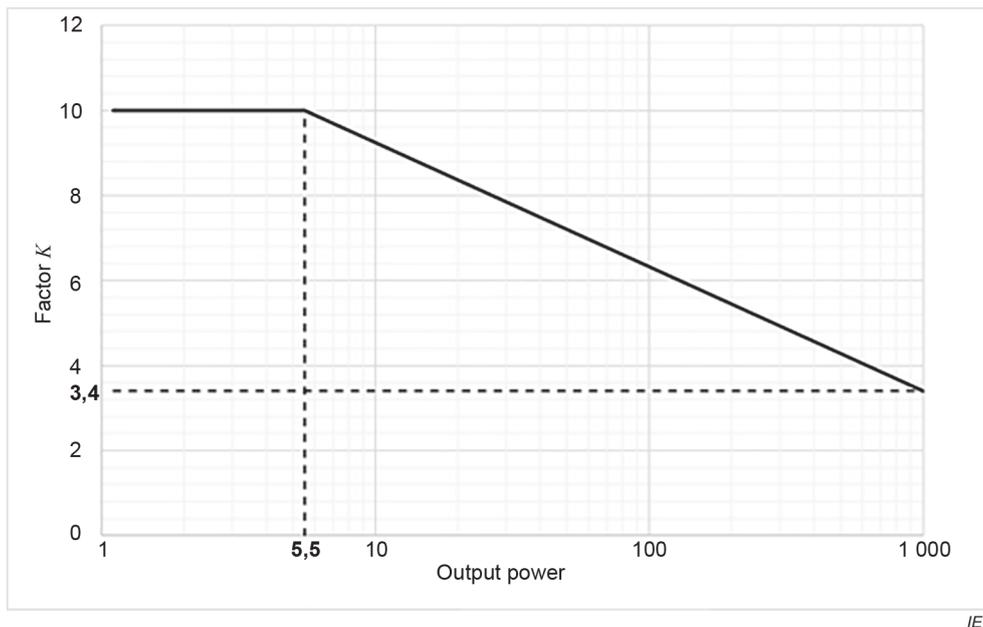


Figure 13 – Factor K for determining $R_{PE,M}$

The current used to determine the resistance $R_{PE,M}$ shall be at least 3 A.

NOTE The method is based on the protective equipotential bonding impedance type test described in IEC 62477-1.

9.13 Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation

For measurement of insulation resistance and polarization index of a winding insulation, see IEC 60034-27-4.

9.14 Shaft-voltage test

A shaft-voltage test shall not be made in case of insulated bearings (1 M Ω or higher for sinusoidal or DC power supply) or in case safety aspects are concerned. The shaft voltage of (mainly) supply frequency (not to be mixed-up with a HF shaft voltage, see 3.37) shall be measured directly between the two shaft ends of an electrical machine being operated at rated voltage and rated frequency at no load and preferably uncoupled. It is not permitted to determine the shaft voltage by measuring the shaft-to-ground voltages across the two bearings and subtracting the values, as this may lead to false results. The shaft voltage has to be evaluated as RMS value. As long as no other limitation is agreed on between manufacturer and customer, the RMS value of the shaft voltage in case of non-insulated ball or roller bearings (or similar) should not exceed 350 mV.

10 Information requirements

10.1 General

Each electrical machine shall be delivered with appropriate documentation comprising the minimally required information (see 10.4) and a rating plate or rating plates (see 10.3).

10.2 Product documentation

The product documentation shall be delivered by the manufacturer including the data sheets and/or operating manual. This documentation can be supplied with the motor physically or in a digital form. For series production of standardized machines, this information can also be directly accessible in the manufacturer's website, which should be easily available. The minimum content of the product document is given in 10.4.

10.3 Rating plate

The plates shall be made of durable material and be securely mounted. The writing has to be made with durable marking (e.g. print, engraving).

The rating plate(s) shall preferably be mounted on the frame of the machine and be located so as to be easily legible in the position of use determined by the type of construction and mounting arrangement of the machine. If the electrical machine is so enclosed or incorporated in the equipment that its rating plate is not easily legible, the manufacturer shall, on request, supply a second plate to be mounted on the equipment.

Rating plate(s) shall be durably marked with the items in 10.4, as far as they apply. The items need not all be on the same plate. Letter symbols for units and quantities shall be in accordance with IEC 60027-1 and IEC 60027-4.

As an option, the rating plate or another part of the machine (e.g. inside the machine's terminal box) may carry an electronic identification symbol, e.g. a QR code, including a direct link to the product documentation at the manufacturer's website.

NOTE QR code according to ISO/IEC 18004:2015.

Except for normal maintenance (lubrication, cleaning, bearing replacement), when a machine is repaired or refurbished, an additional plate shall be provided to indicate the name of the company undertaking the work, the year of repair. In case of modification, the changes affecting the original rating plate data shall be displayed on this additional plate, as well. Additional information on the modifications and its influence to technical data not being displayed on the rating plate can be received from the company undertaking the work.

10.4 Information content

10.4.1 General

The items in 10.4.2 to 10.4.5 shall be given, when applicable, in the product documentation as well as on the rating plate(s). If the manufacturer gives more information in the product documentation, this need not necessarily be marked on the rating plate(s). The items in 10.4.6 are optional, but recommended at least for machines over 5 kW (or 5 kVA) rated output.

The items are numbered a) to jj) for convenient reference, but the order in which they appear in the product documentation and on the rating plate(s) is not standardized. Items may be suitably combined.

10.4.2 Minimum information requirements

The minimum information requirements for machines with all rated output sizes, including special-purpose and built-in machines, are:

- a) The manufacturer's name or mark.
- b) The manufacturer's serial number or identification mark.

NOTE 1 A single identification mark may be used to identify each member of a group of machines which are made to the same electrical and mechanical design and are produced in one batch using the same technology.

- c) The manufacturer's machine code.
- d) Information to identify the year of manufacture.
- e) The rated voltage(s) or range of rated voltage; two different rated values shall be indicated by "/" (e.g. 400V/230 V) while a range of rated values shall be indicated by "-" (e.g. 380V-440 V).

NOTE 2 In all these cases, voltage (and frequency) variations according to 7.4 are valid and will not be indicated separately.

- f) The rated current(s) or range of rated current.
- g) The connecting instructions in accordance with IEC 60034-8 by means of a diagram (or text located near the terminals).
- h) The rated output(s) or range of rated output power and the class(es) of rating of the machine if designed for other than rating for continuous running duty S1, see 5.2.
- i) The rated speed(s) or range of rated speed and the permissible overspeed if other than specified in 9.7 or the maximum safe operating speed if less than in 9.6 or in case of a converter duty machine, given in the unit min^{-1} or 1/min. In case of a converter duty machine, the range of speed can also be given in per unit or percent of the rated speed.
- j) For motors within the scope of IEC 60034-30-1 and IEC 60034-30-2, the efficiency class (IE code) and for motors within the scope of IEC 60034-30-1 also the rated efficiency.
- k) When specified, the approximate total mass of the machine, if exceeding 30 kg.
- l) The degree of protection provided by the integral design of the rotating electrical machine (IP code) in accordance with IEC 60034-5.
- m) The thermal class and the limit of temperature or of temperature rise (when lower than that of the thermal class) in accordance with IEC 60085 and, if necessary, the method of measurement, followed in the case of a machine with a water-cooled heat exchanger by 'P' or 'S', depending on whether the temperature rise is measured above the primary or secondary coolant respectively (see 8.2). This information shall be given for both stator and rotor (separated by a slash) when their thermal class differ.
- n) For motors within the scope of IEC 60034-12, the design letter(s) as specified in Clause 5 of IEC 60034-12: 2016 indicating the starting requirements in case it is not design N.

- o) For machines suitable for operation in only one direction of rotation, the direction of rotation, indicated either by indicating cw (clockwise) or ccw (counter clockwise) on the rating plate or by an arrow. This arrow need not be on the rating plate, but it shall be easily visible.
- p) The altitude for which the machine is designed if exceeding 1 000 m above sea level.

10.4.3 All AC machines

10.4.3.1

- q) For AC machines, the number of phases.
- r) For AC machines the rated frequency and in case of converter duty machines the term 'converter duty'.
For universal motors, the rated frequency shall be followed by the appropriate symbol, for example, ~ 50 Hz / $\overline{\overline{\overline{\quad}}}$ (IEC 60417-5031) or AC 50 Hz / DC.

10.4.3.2 All synchronous machines

- s) In case of machines excited by permanent magnets, the open circuit voltage at rated speed.
- t) In case of electrical excitation, the rated field voltage and the rated field current.
- u) In case of electrical excitation, the rated power factor.

10.4.3.3 All wound-rotor induction machines

- v) The rated open-circuit voltage between slip-rings and the rated slip-ring current.

10.4.4 All DC machines

- w) For machines with separate excitation or with shunt excitation, the rated field voltage and the rated field current.
- x) The rated form factor and the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter, when this exceeds the rated direct voltage of the motor armature circuit.

10.4.5 Machines over 5 kW (or 5 kVA) rated output

- y) The number(s) of the rating and performance standard(s) which are applicable (IEC 60034-x and/or equivalent national standard(s)). If IEC 60034 is marked, this implies compliance with all the other relevant standards of the IEC 60034 series. If IEC 60034-1 is marked, this implies compliance with the standard itself, not with the references.
- z) The maximum ambient air temperature if other than 40 °C.
- aa) The minimum ambient air temperature if other than specified in 6.4.
- bb) The maximum water coolant temperature if other than 25 °C.
- cc) For hydrogen-cooled machines, the hydrogen pressure at rated output.

10.4.6 Optional information

- dd) The method of cooling (IC code) in accordance with IEC 60034-6 in case it is not IC411.
- ee) For AC machines, the rated power factor(s).
- ff) For induction machines, the locked rotor apparent power.
- gg) The types of the bearings, the type of grease or oil and the lubrication interval in case of roller or ball bearings.
- hh) For motors with duty type S9, the momentary excess torque capability at rated speed in percent of the rated torque, in case the value exceeds 160 %.
- ii) For machines with an IVIC assigned, the IVIC level in accordance with IEC 60034-18-41 or IEC 60034-18-42, respectively.
- jj) For converter capable machines (see 3.35), the term 'converter capable'.

11 Miscellaneous requirements

11.1 Protective earthing of machines

Machines shall be provided with an earthing terminal or another device to permit the connection of a protective conductor or an earthing conductor.

The symbol  (IEC 60417-5019) or legend shall identify this device. However, machines shall neither be earthed nor be provided with an earthing terminal when:

- a) they are fitted with supplementary insulation, or;
- b) they are intended for assembly in apparatus having supplementary insulation, or;
- c) they have rated voltages up to AC 50 V or DC 120 V and are intended for use on SELV circuits.

NOTE 1 The term SELV is defined in IEC 60884-2-4.

In the case of machines having rated voltages greater than AC 50 V or DC 120 V, but not exceeding AC 1 000 V or DC 1 500 V, the terminal for the earthing conductor shall be situated in the vicinity of the terminals for the line conductors, being placed in the terminal box, if one is provided. Machines having rated outputs in excess of 100 kW (or kVA) shall have in addition an earthing terminal fitted on the frame.

Machines for rated voltages greater than AC 1 000 V or DC 1 500 V shall have an earthing terminal on the frame, for example an iron strap, and in addition, a means inside the terminal box for connecting a conducting cable sheath, if any.

The earthing terminal shall be designed to ensure a good connection with the earthing conductor without any damage to the conductor or terminal. Accessible conducting parts which are not part of the operating circuit shall have good electrical contact with each other and with the earthing terminal if there is a risk that they will come into contact with live parts. When all bearings and the rotor winding of a machine are insulated, the shaft shall be electrically connected to the earthing terminal, unless the manufacturer and the purchaser agree to alternative means of protection.

When an earthing terminal is provided in the terminal box, it shall be assumed that the earthing conductor is made of the same metal as the lead conductors.

When an earthing terminal is provided on the frame, the earthing conductor may, by agreement, be made of another metal (for example, steel). In this case, in designing the terminal, proper consideration shall be given to the conductivity of the conductor.

The earthing terminal shall be designed to accommodate an earthing conductor of cross-sectional area in accordance with Table 21. If an earthing conductor larger than the size given in Table 21 is used, it is recommended that it should correspond as nearly as possible to one of the other sizes listed.

For other cross-sectional areas of phase conductors, the earthing or protective conductor shall have a cross-sectional area at least equivalent to:

- that of the phase conductor for cross-sectional areas less than 25 mm²;
- 25 mm² for cross-sectional areas between 25 mm² and 50 mm²;
- 50 % of that of the phase conductor for cross-sectional areas exceeding 50 mm².

For generators ≥ 20 MVA the earthing conductor cross-sectional area outside the machine should be calculated by the system integrator and the neutral point bus-bar cross-sectional area by the manufacturer to safely meet the short circuit current at double earth fault during the time needed until the machine has been disconnected by the protective system and is deexcited. The earthing terminal shall be identified in accordance with IEC 60445.

In the documentation of each machine with rated voltage not exceeding AC 1 000 V or DC 1 500 V, respectively, it shall be clearly stated that a protective earth test as required by IEC 60364, if applicable, or as stated by specific customer requirements shall be made after the installation of the machine. The responsibility for conducting this test is not with the machine manufacturer, but with the end-user or the system integrator.

NOTE 2 For small machines with frame sizes below 63 mm, proper earthing may be provided by the flange alone.

Table 21 – Cross-sectional areas of earthing conductors

Cross-sectional area of the phase conductor mm ²	Cross-sectional area of the earthing or protective conductor mm ²
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

11.2 Shaft-end key(s)

When a machine shaft end is provided with one or more keyways, each shall be provided with a full key of normal shape and length.

12 Tolerances

12.1 General

Tolerance is the maximum allowed deviation between the test result of a quantity from Table 22 and the declared value on the rating plate or in the catalogue. As long as test procedures and test equipment according to IEC standards are used, the test result shall not exceed the allowed deviation independent of test laboratory or equipment. Tolerance does not cover the uncertainty of a test procedure, i.e. the deviation between the test result and the true value. The tolerances of the test equipment itself are included in the tolerances specified in Table 22.

NOTE 1 In case of a series production the tolerance applies to any selected sample, i.e. tolerance covers variations in raw material properties and manufacturing procedures.

NOTE 2 Detailed information on the influence of measurement uncertainty can be found in IEC Guide 115:2021.

12.2 Tolerances on values of quantities

Unless stated otherwise, tolerances on declared values shall be as specified in Table 22.

Table 22 – Schedule of tolerances on values of quantities

Item	Quantity	Tolerance
1	Efficiency η^c	–15 % of $(1 - \eta)$
2	Rated field current of synchronous machines	+15 % of the value
3	Power-factor, $\cos \phi$, for induction machines and permanent magnet synchronous machines operating direct on-line	–1/6 $(1 - \cos \phi)$ Minimum absolute value 0,02 Maximum absolute value 0,07
4	Speed of DC motors (at full load and at working temperature) ^a	
4a)	Shunt and separately excited motors	$1\ 000\ P_N/n_N < 0,67$ $\pm 15\ %$ $0,67 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 2,5$ $\pm 10\ %$ $2,5 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 10$ $\pm 7,5\ %$ $10 \leq 1\ 000\ P_N/n_N$ $\pm 5\ %$
4b)	Series motors	$1\ 000\ P_N/n_N < 0,67$ $\pm 20\ %$ $0,67 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 2,5$ $\pm 15\ %$ $2,5 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 10$ $\pm 10\ %$ $10 \leq 1\ 000\ P_N/n_N$ $\pm 7,5\ %$
4c)	Compound excited motors	Tolerances as for item 4b) unless otherwise agreed
5	Variation of speed of DC shunt and compound excited motors (from no-load to full load)	$\pm 20\ %$ of the variation with a minimum of $\pm 2\ %$ of the rated speed
6	Inherent voltage regulation of DC generators, shunt or separately excited at any point on the characteristic	$\pm 20\ %$ of the regulation at that point
7	Inherent voltage regulation of compound excited generators (at the rated power-factor in the case of alternating current)	$\pm 20\ %$ of the regulation, with a minimum of $\pm 3\ %$ of the rated voltage. (This tolerance applies to the maximum deviation at any load between the observed voltage at that load and a straight line drawn between the points of no-load and full-load voltage.)
8 a)	Slip of induction machines (at full load and at working temperature) $P_N < 1\ \text{kW}$ $P_N \geq 1\ \text{kW}$	$\pm 30\ %$ of the slip $\pm 20\ %$ of the slip
8 b)	Speed of AC (commutator) motors with shunt characteristics (at full load and at working temperature)	– on the highest speed: –3 % of the synchronous speed – on the lowest speed: +3 % of the synchronous speed
9	Locked rotor current of cage induction motors with any specified starting apparatus	+20 % of the current; for motors within the scope of IEC 60034-12, the limit specified in IEC 60034-12 for the locked rotor apparent power shall not be exceeded.
10	Locked rotor torque of cage induction motors	+25 –15 % of the torque. (+25 % may be exceeded by agreement)

Item	Quantity	Tolerance
11	Pull-up torque of cage induction motors	–15 % of the value
12	Breakdown torque of induction motors	–10 % of the torque except that after allowing for this tolerance the torque shall be not less than 1,6 or 1,5 times the rated torque, see 9.4.1
13	Locked rotor current of synchronous motors	+ 20 % of the value
14	Locked rotor torque of synchronous motors	+25 –15 % of the value (+25 % may be exceeded by agreement)
15	Pull-out torque of synchronous motors	–10 % of the value except that after allowing for this tolerance, the torque shall be not less than 1,35 or 1,5 times the rated torque, see 9.4.2
16	Peak value of short-circuit current of an AC generator under specified conditions	±30 % of the value ^b
17	Steady short-circuit current of an AC generator at specified excitation	±15 % of the value
18	Moment of inertia	±10 % of the value
19	Average A-weighted sound pressure level or sound power level at no-load and sinusoidal supply	+ 3 dB(A)

NOTE When a tolerance is stated in only one direction, the value is not limited in the other direction.

^a Tolerances in item 4 depend on the ratio of rated output P_N in kW, to rated speed in min^{-1} .

^b For some simulations, tolerances in item 16 are too wide. Manufacturer and customer may agree on higher accuracy.

^c The tolerance on efficiency implies a tolerance on the total losses of +15 % of the total losses.

13 Electromagnetic compatibility (EMC)

13.1 General

The EMC requirements specified in this clause apply to rotating electrical machines with rated voltages not exceeding AC 1 000 V or DC 1 500 V intended for operation and use in residential, commercial or industrial environments.

Electronic components mounted inside a rotating electrical machine and which are essential for its operation (for example rotating excitation devices) are part of the machine.

Requirements which apply to the final drive system and its components, for example power and control electronic equipment, coupled machines, monitoring devices, etc., whether mounted inside or outside the machine, are outside the scope of this document.

The requirements of this clause apply to machines that are supplied directly to the end-user.

NOTE 1 The purpose of this clause is to give advice for contractual agreements between supplier and end-user.

NOTE 2 Machines that are intended for incorporation as components in an apparatus, where the enclosure and assembly will affect the EMC emissions, are covered by the EMC standard that relates to the final product.

In synchronous machines, electronic power supplies of the exciter machine's stator being part of the synchronous machine shall comply with the EMC requirements of this document.

NOTE 3 As the generator in a power plant is often a very large machine having some higher magnetic fields outside the housing, it is possible to define boundaries around the generator in the machine hall, inside of which fields may be higher than according to CISPR requirements and access is forbidden for electronic devices and restricted to allowed staff only.

Transients (such as starting) are not covered by this clause.

13.2 Immunity

13.2.1 Machines not incorporating electronic circuits

Machines without electronic circuits are not sensitive to electromagnetic emissions under normal service conditions and, therefore, no immunity tests are required.

13.2.2 Machines incorporating electronic circuits

As electronic circuits which are incorporated in machines generally utilize components that are passive (for example diodes, resistors, varistors, capacitors, surge suppressors, inductors), immunity tests are not required.

13.3 Emission

For machines intended for use in residential environments, radiated and conducted emissions shall comply with the requirements of CISPR 11 for class B group 1 equipment, see Table B.1, in Annex B.

For machines intended for use in industrial environments, radiated and conducted emissions shall comply with the requirements of CISPR 11 for class A group 1 equipment with a rated input power of ≤ 20 kVA, independently from their actual rated input power. These limits are also found in Table B.2.

13.4 Immunity tests

Immunity tests are not required.

13.5 Emission measurements

For general purpose rotating electrical machines, type tests shall be carried out in accordance with CISPR 11 and the respective parts of the CISPR 16 standards series as applicable. Type tests on rotating electrical machines intended for assembly into final products in the scope of CISPR 14 shall be carried out also observing the advice found in CISPR 14.

For the measurements, the requirements specified in 13.3 apply.

Machines without brushes shall comply with the emission limits of 13.3 with any load condition.

Machines with brushes shall at least comply with the emission limits of CISPR 11 for class A group 1 equipment with a rated input power of ≤ 20 kVA, independently from their actual rated input power, when tested without a load. Such machines need to be denoted as class A components.

Cage induction machines do not need to be measured.

Emissions at terminals intended for earthing or grounding do not need to be measured.

14 Application requirements

Rotating machines in accordance with this document shall comply with the requirements of IEC 60204-1 or IEC 60204-11 or, in the case of rotating machines incorporated in household and similar electrical appliances, IEC 60335-1, as appropriate unless otherwise specified in this document, and be designed and constructed as far as possible in accordance with internationally accepted best design practice, appropriate to the application.

NOTE It is the responsibility of the manufacturer or assembler of equipment incorporating electrical machines as components to ensure that the overall equipment is safe.

This may involve consideration of relevant product standards such as:

IEC 60079 (all parts), and other parts of IEC 60034 including:

IEC 60034-5, IEC 60034-6, IEC 60034-7, IEC 60034-8, IEC 60034-9, IEC 60034-11, IEC 60034-12 and IEC 60034-14.

In addition, it may be necessary to consider limitation of the surface temperature and similar characteristics; see for example IEC 60335-1:2020, Clause 11: Heating.

Annex A (informative)

Guidance for the application of duty type S10 and for establishing the value of relative thermal life expectancy TL

A.1 The load of the machine at any moment is equivalent to duty type S1 corresponding to 4.2.1. However, the load cycle may comprise loads other than the rated load based on duty type S1. A load cycle comprising four discrete constant load/speed combinations is shown in Figure 10.

A.2 Depending on the value and duration of the different loads within one cycle, the relative life expectancy of the machine based on the thermal ageing of the insulation system can be calculated by the following formula:

$$\frac{1}{TL} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \times 2^{\frac{\Delta\Theta_i}{k}}$$

where

TL is the relative thermal life expectancy related to the thermal life expectancy in case of duty type S1 with rated output;

$\Delta\Theta_i$ is the difference between the temperature rise of the winding at each of the various loads within one cycle and the temperature rise based upon duty type S1 with reference load;

Δt_i is the p.u. time of a constant load within a load cycle;

k is the increase in temperature rise in K , which leads to a shortening of the thermal life expectancy of the insulation system by 50 %;

n is the number of discrete values of load.

A.3 The quantity TL is an integral part of the unambiguous identification of the class of rating.

A.4 The value of the quantity TL can be determined only when, in addition to information concerning the load cycle according to Figure 10, the value k for the insulation system is known. This value k has to be determined by experiments in conformity with IEC 60034-18 for the whole temperature range within which the load cycle takes place according to Figure 10.

A.5 TL can be stated sensibly as a relative value only. This value can be used by approximation to assess the real change in the machine thermal life expectancy as compared to duty type S1 with rated output, because it may be assumed that in consideration of the varying loads existing within a cycle the remaining influences over the lifetime of the machine (e.g. dielectric stress, environmental influences) are approximately the same as in the case of duty type S1 with rated output.

A.6 The manufacturer of the machine is responsible for the correct compilation of the various parameters for determining the value of TL .

Annex B
(informative)

Electromagnetic compatibility (EMC) limits

Table B.1 – Electromagnetic emission limits per CISPR 11 Class B Group 1

	Frequency range	Limits
Radiated emission	30 MHz to 230 MHz	30 dB(μV/m) quasi peak, measured at 10 m distance (Note)
	230 MHz to 1 000 MHz	37 dB(μV/m) quasi peak, measured at 10 m distance (Note)
Conducted emission on AC or DC power supply terminals	0,15 MHz to 0,50 MHz Limits decrease linearly with logarithm frequency	66 dB(μV) to 56 dB(μV) quasi peak 56 dB(μV) to 46 dB(μV) average
	0,50 MHz to 5 MHz	56 dB(μV) quasi peak 46 dB(μV) average
	5 MHz to 30 MHz	60 dB(μV) quasi peak 50 dB(μV) average
NOTE May be measured at 3 m distance using the limits increased by 10 dB.		

Table B.2 – Electromagnetic emission limits per CISPR 11 Class A Group 1

	Frequency range	Limits
Radiated emission	30 MHz to 230 MHz	30 dB(μV/m) quasi peak, measured at 30 m distance (Note)
	230 MHz to 1 000 MHz	37 dB(μV/m) quasi peak, measured at 30 m distance (Note)
Conducted emission on AC or DC power supply terminals	0,15 MHz to 0,50 MHz	79 dB(μV) quasi peak 66 dB(μV) average
	0,50 MHz to 30 MHz	73 dB(μV) quasi peak 60 dB(μV) average
NOTE May be measured at 10 m distance using the limits increased by 10 dB or measured at 3 m distance using the limits increased by 20 dB.		

Bibliography

IEC 60034-7, *Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM Code)*

IEC 60034-9, *Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*

IEC 60034-11, *Rotating electrical machines – Part 11: Thermal protection*

IEC 60034-14, *Rotating electrical machines – Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration severity*

IEC TS 60034-24:2009, *Rotating electrical machines – Part 24: Online detection and diagnosis of potential failures at the active parts of rotating electrical machines and of bearing currents – Application guide*

IEC 60034-27 (all parts), *Rotating electrical machines – Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60079 (all parts), *Explosive atmospheres*

IEC 60092 (all parts), *Electrical installations in ships*

IEC 60276:2018, *Carbon brushes, brush holders, commutators and slip-rings – Definitions and nomenclature*

IEC 60349 (all parts), *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles*

IEC 60884-2-4, *Plugs and socket-outlets for household and similar purposes – Part 2-4: Particular requirements for plugs and socket-outlets for SELV*

IEC 62477-1, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General*

IEC GUIDE 115:2021, *Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector*

ISO/IEC 18004:2015, *Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR Code bar code symbology specification*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	85
1 Domaine d'application	88
2 Références normatives	88
3 Termes et définitions	90
4 Services	96
4.1 Spécification du service	96
4.2 Services types	96
4.2.1 Service type S1 – Service continu	96
4.2.2 Service type S2 – Service temporaire	97
4.2.3 Service type S3 – Service intermittent périodique	98
4.2.4 Service type S4 – Service intermittent périodique à démarrage	99
4.2.5 Service type S5 – Service intermittent périodique à freinage électrique	100
4.2.6 Service type S6 – Service ininterrompu périodique	102
4.2.7 Service type S7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique	103
4.2.8 Service type S8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse	104
4.2.9 Service type S9 – Service à variations non périodiques de charge et de vitesse	105
4.2.10 Service type S10 – Service avec charges et vitesses constantes discrètes	106
5 Caractéristiques assignées	109
5.1 Attribution des caractéristiques assignées	109
5.2 Classes de caractéristiques assignées	109
5.2.1 Caractéristiques assignées pour service continu	109
5.2.2 Caractéristiques assignées pour service temporaire	109
5.2.3 Caractéristiques assignées pour service périodique	109
5.2.4 Caractéristiques assignées pour service non périodique	109
5.2.5 Caractéristiques assignées pour service avec charges et vitesses constantes discrètes	110
5.2.6 Caractéristiques assignées pour charge équivalente	110
5.3 Choix d'une classe de caractéristiques assignées	110
5.4 Attribution de la puissance (utile) à une classe de caractéristiques assignées	111
5.5 Puissance (utile) assignée	111
5.5.1 Génératrices de courant continu	111
5.5.2 Alternateurs	111
5.5.3 Moteurs	111
5.5.4 Compensateurs synchrones	111
5.6 Tension assignée	111
5.6.1 Génératrices de courant continu	111
5.6.2 Alternateurs	111
5.6.3 Moteurs à courant alternatif	111
5.7 Combinaison préférentielle des tensions et des puissances (utiles)	112
5.8 Machines ayant plus d'un ensemble de caractéristiques assignées	112
6 Conditions de fonctionnement sur site	112
6.1 Généralités	112
6.2 Altitude	112
6.3 Température maximale de l'air ambiant	113

6.4	Température minimale de l'air ambiant	113
6.5	Température de l'eau de refroidissement	113
6.6	Arrêt, stockage et transport.....	113
6.7	Pureté de l'hydrogène de refroidissement	113
7	Conditions de fonctionnement électriques.....	113
7.1	Alimentation électrique.....	113
7.2	Forme et symétrie des tensions et des courants	115
7.2.1	Moteurs à courant alternatif	115
7.2.2	Alternateurs.....	115
7.2.3	Machines synchrones	116
7.2.4	Moteurs à courant continu alimentés par convertisseurs statiques de puissance	117
7.3	Tension au démarrage des moteurs à courant alternatif	118
7.4	Variations de tension et de fréquence en fonctionnement.....	118
7.5	Machines triphasées à courant alternatif fonctionnant sur réseaux isolés.....	121
7.6	Niveaux de tenue en tension (crête et gradient)	121
8	Caractéristiques thermiques de fonctionnement et essais thermiques.....	121
8.1	Classe thermique	121
8.2	Fluide de refroidissement de référence	122
8.3	Conditions des essais thermiques	122
8.3.1	Alimentation électrique	122
8.3.2	Température de la machine avant l'essai	123
8.3.3	Température du fluide de refroidissement.....	123
8.3.4	Mesurage de la température du fluide de refroidissement au cours des essais	123
8.4	Échauffement d'un élément de machine	124
8.5	Méthodes de mesure de la température	124
8.5.1	Généralités	124
8.5.2	Méthode par variation de résistance	124
8.5.3	Méthode par indicateurs internes de température (IIT).....	124
8.5.4	Méthode par thermomètre.....	124
8.6	Détermination de la température d'enroulement.....	125
8.6.1	Choix de la méthode	125
8.6.2	Détermination par la méthode par variation de résistance.....	126
8.6.3	Détermination par la méthode par indicateurs internes de température (IIT)	127
8.6.4	Détermination par la méthode du thermomètre	128
8.7	Durée des essais thermiques	128
8.7.1	Caractéristiques assignées pour service continu.....	128
8.7.2	Caractéristiques assignées pour service temporaire	128
8.7.3	Caractéristiques assignées pour service périodique.....	128
8.7.4	Caractéristiques assignées pour service non périodique et caractéristiques assignées pour service avec charges constantes discrètes.....	128
8.8	Détermination de la constante de temps thermique équivalente des machines pour service type S9	129
8.9	Mesurage de la température des roulements.....	129
8.10	Limites d'échauffement et de température.....	129
8.10.1	Généralités	129
8.10.2	Enroulements à refroidissement indirect	130

8.10.3	Enroulements à refroidissement direct.....	135
8.10.4	Corrections pour tenir compte de la pureté de l'hydrogène au cours de l'essai.....	135
8.10.5	Enroulements continuellement fermés sur eux-mêmes, circuits magnétiques et tous éléments de structure (à l'exclusion des roulements), qu'ils soient ou non en contact direct avec une isolation.....	135
8.10.6	Collecteurs et bagues, ouverts ou enfermés, et leurs balais et porte-balais	135
9	Autres caractéristiques de fonctionnement et essais.....	138
9.1	Essais individuels de série.....	138
9.2	Essais de tension de tenue	139
9.3	Surintensité occasionnelle	143
9.3.1	Généralités.....	143
9.3.2	Génératrices.....	143
9.3.3	Moteurs (sauf les moteurs à collecteur et les moteurs à aimants permanents)	143
9.3.4	Machines à collecteur	144
9.4	Excès momentané de couple des moteurs	144
9.4.1	Moteurs à induction polyphasés et moteurs à courant continu.....	144
9.4.2	Moteurs synchrones polyphasés	144
9.4.3	Autres moteurs	145
9.5	Creux de couple et couple à rotor bloqué des moteurs à induction à cage pour un démarrage direct en ligne.....	145
9.6	Vitesse de sécurité en fonctionnement des moteurs à induction à cage	145
9.7	Survitesse.....	146
9.8	Courant de court-circuit des machines synchrones	147
9.9	Essai de tenue au court-circuit des machines synchrones.....	147
9.10	Essai de commutation pour machines à collecteur	147
9.11	Distorsion harmonique totale (<i>THD</i>) pour machines synchrones.....	147
9.11.1	Généralités.....	147
9.11.2	Limites.....	147
9.11.3	Essais	148
9.12	Essai de mise à la terre	148
9.13	Mesurage de la résistance d'isolation et de l'indice de polarisation de l'isolation de l'enroulement.....	149
9.14	Essai de la tension d'arbre.....	149
10	Exigences relatives à l'information.....	149
10.1	Généralités	149
10.2	Documentation sur le produit	150
10.3	Plaque signalétique	150
10.4	Contenu des informations	150
10.4.1	Généralités.....	150
10.4.2	Exigences minimales relatives à l'information	151
10.4.3	Toutes les machines à courant alternatif.....	152
10.4.4	Toutes les machines à courant continu	152
10.4.5	Machines de puissance (utile) assignée supérieure à 5 kW (ou 5 kVA).....	152
10.4.6	Informations facultatives.....	152
11	Exigences diverses.....	153
11.1	Mise à la terre des machines	153
11.2	Clavette(s) de bout d'arbre	154

12	Tolérances	154
12.1	Généralités	154
12.2	Tolérances sur les valeurs des grandeurs	155
13	Compatibilité électromagnétique (CEM)	156
13.1	Généralités	156
13.2	Immunité	157
13.2.1	Machines n'incorporant pas de circuit électronique	157
13.2.2	Machines incorporant des circuits électroniques	157
13.3	Émission	157
13.4	Essais d'immunité	157
13.5	Mesurages des émissions	157
14	Exigences relatives aux applications	158
	Annexe A (informative) Recommandations relatives à l'application du service type S10 et pour l'obtention de la valeur de l'espérance de vie thermique relative TL	159
	Annexe B (informative) Limites de compatibilité électromagnétique (CEM)	160
	Bibliographie	161
	Figure 1 – Service continu – Service type S1	97
	Figure 2 – Service temporaire – Service type S2	98
	Figure 3 – Service intermittent périodique – Service type S3	99
	Figure 4 – Service intermittent périodique à démarrage – Service type S4	100
	Figure 5 – Service intermittent périodique à freinage électrique – Service type S5	101
	Figure 6 – Service ininterrompu périodique – Service type S6	102
	Figure 7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7	103
	Figure 8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse – Service type S8	105
	Figure 9 – Service à variations non périodiques de charge et de vitesse – Service type S9	106
	Figure 10 – Service avec charges constantes discrètes – Service type S10	108
	Figure 11 – Valeurs limites de tension et de fréquence pour les moteurs et les génératrices à l'exception des génératrices et des compensateurs synchrones couverts par l'IEC 60034-3 et les génératrices hydrauliques couvertes par l'IEC 60034-33	120
	Figure 12 – Cas le plus défavorable d'échauffement ($\Delta\theta$) et diminution recommandée de la puissance (ΔP) des moteurs en fonction de la variation conjointe de la tension et de la fréquence $ \Delta\phi $ (ligne directrice indicative pour les utilisateurs des moteurs et des génératrices seulement)	120
	Figure 13 – Facteur K pour déterminer $R_{PE,M}$	149
	Tableau 1 – Tensions assignées préférentielles	112
	Tableau 2 – Conditions de fonctionnement déséquilibrées pour les machines synchrones	117
	Tableau 3 – Désignation du symbole CCC	118
	Tableau 4 – Fonctions principales des machines	119
	Tableau 5 – Fluide de refroidissement de référence (voir aussi le Tableau 11)	122
	Tableau 6 – Délai	127
	Tableau 7 – Points de mesure	129

Tableau 8 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par l'air	131
Tableau 9 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par hydrogène.....	132
Tableau 10 – Corrections aux limites des échauffements sur le site de fonctionnement des enroulements à refroidissement indirect pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas celles de référence	133
Tableau 11 – Températures ambiantes maximales estimées.....	134
Tableau 12 – Limites corrigées des échauffements sur le site d'essai ($\Delta\theta_T$) des enroulements à refroidissement indirect par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai	136
Tableau 13 – Limites des températures des enroulements à refroidissement direct et de leurs fluides de refroidissement.....	137
Tableau 14 – Corrections aux limites de température sur le site de fonctionnement pour les enroulements à refroidissement direct par air ou hydrogène pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas celles de référence	138
Tableau 15 – Limites corrigées de température sur le site d'essai θ_T pour les enroulements à refroidissement direct par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai	138
Tableau 16 – Essais individuels de série minimaux pour les machines assemblées et soumises à l'essai dans l'installation du constructeur.....	139
Tableau 17 – Essais de tension de tenue.....	141
Tableau 18 – Facteurs de tension d'essai pour les machines à classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) attribuée conformément à l'IEC 60034-18-41 et à l'IEC 60034-18-42.....	143
Tableau 19 – Vitesse maximale de fonctionnement en sécurité (min^{-1}) des moteurs triphasés à induction à cage, à une seule vitesse pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 1 000 V	145
Tableau 20 – Survitesses.....	146
Tableau 21 – Section des conducteurs de terre	154
Tableau 22 – Nomenclature des tolérances sur les valeurs des grandeurs.....	155
Tableau B.1 – Limites d'émission électromagnétique selon la CISPR 11, Classe B, Groupe 1	160
Tableau B.2 – Limites d'émission électromagnétique selon la CISPR 11, Classe A, Groupe 1	160

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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.

L'IEC 60034-1 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatorzième édition annule et remplace la treizième édition parue en 2017. Cette édition constitue une révision technique.

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

Article ou paragraphe	Modifications
1	Clarification du domaine d'application
2	Généralités sur l'utilisation des références datées
3.29	Clarification relative à l'identification de l'intensité maximale et minimale
3.34	Définition de l'isolation principale
3.35	Définition d'une machine apte à fonctionner sur convertisseur
3.36	Définition d'une machine fonctionnant exclusivement sur convertisseur
3.37	Définition de la tension d'arbre
4.2	Explications relatives à l'utilisation des services types S9 et S10 pour les machines fonctionnant exclusivement sur convertisseur
5.6.3	Nouveau paragraphe de clarification des termes plage de tensions assignées et variations de tension
6.2	Exigence relative à la prise en considération d'une distance de claquage réduite dans la conception des machines pour les altitudes > 1 000 m
7.1	Clarification sur le transfert par bus ou le réenclenchement rapide Clarification sur la capacité de tenue aux chocs électriques
7.3	Nouveau paragraphe sur l'écart de tension pendant le démarrage
7.4	Extension de la variation de la fréquence de l'alimentation Ajout d'une note relative à la conception pour un fonctionnement avec une tension et une fréquence étendues Ajout d'un déclassement recommandé pour les variations importantes de tension et de fréquence
7.6	Clarification du fait que les fils émaillés ne constituent pas un matériau actif nu
8.3.1	Ajout d'une clarification concernant l'alimentation électrique pendant les essais thermiques
9.1	Modifications du Tableau 16, en particulier l'inclusion des aimants permanents (PM - <i>permanent magnets</i>) et des machines à réductance synchrone
9.2	Ajout d'une exigence relative à l'équipement d'essai pour l'essai de tension de tenue Ajout d'une tension d'essai pour les machines à courant alternatif à vitesse variable Clarification apportée aux essais de tension de tenue pour les machines après stockage
9.5	Paragraphe étendu aux exigences relatives au couple à rotor bloqué minimal
9.10	Ajout d'une note sur les critères relatifs à l'essai de commutation
9.11.3	Ajout d'une clarification concernant le fait que les moteurs synchrones ne nécessitent pas un essai de distorsion harmonique totale (THD - <i>total harmonic distortion</i>)
9.12	Nouveau paragraphe relatif à l'essai de mise à la terre
9.13	Nouveau paragraphe relatif au mesurage de la résistance d'isolation et l'indice de polarisation
9.14	Nouveau paragraphe relatif au mesurage de la tension d'arbre
10	Cet article a été entièrement réorganisé Ajout d'une clarification sur le symbole d'unité pour la vitesse
11.1	Ajout d'une clarification concernant l'essai de mise à la terre après l'installation
12.1	Clarification concernant les tolérances en raison de l'exactitude de l'équipement d'essai Ajout d'une note concernant l'incertitude de mesure
12.2	Modification de la tolérance relative au rendement Clarification concernant la tolérance relative au courant à rotor bloqué Nouvelle tolérance concernant le niveau de pression acoustique
14	Amélioration du titre de l'article

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

Projet	Rapport de vote
2/2084/FDIS	2/2090/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60034, publiée sous le titre général *Machines électriques tournantes*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60034 s'applique à toutes les machines électriques tournantes à l'exception des machines destinées aux véhicules ferroviaires et routiers, qui sont couvertes par la série de normes IEC 60349.

Les machines comprises dans le domaine d'application du présent document peuvent également être soumises à des exigences nouvelles, modifiées ou complémentaires figurant dans d'autres normes, par exemple, les séries IEC 60079 et IEC 60092.

NOTE Si certains articles du présent document sont modifiés afin de permettre des applications spéciales, par exemple pour les machines soumises à la radioactivité ou les machines aérospatiales, tous les autres articles s'appliquent dans la mesure où ils sont compatibles.

2 Références normatives

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).

IEC 60027-1:1992, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 1: Généralités*
IEC 60027-1:1992/AMD1:1997
IEC 60027-1:1992/AMD2:2005

IEC 60027-4:2006, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 4: Machines électriques tournantes*

IEC 60034-2 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes – Partie 2: Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

IEC 60034-3:2020, *Machines électriques tournantes – Partie 3: Exigences spécifiques pour les alternateurs synchrones entraînés par des turbines à vapeur ou par des turbines à gaz et pour les compensateurs synchrones*

IEC 60034-5:2020, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale de machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

IEC 60034-6:1991, *Machines électriques tournantes – Partie 6: Modes de refroidissement (code IC)*

IEC 60034-8:2007, *Machines électriques tournantes – Partie 8: Marques d'extrémité et sens de rotation*
IEC 60034-8:2007/AMD1:2014

IEC 60034-12:2016, *Machines électriques tournantes – Partie 12: Caractéristiques de démarrage des moteurs triphasés à induction à cage à une seule vitesse*

IEC 60034-15:2009, *Machines électriques tournantes – Partie 15: Niveaux de tenue au choc électrique des bobines de stator préformées des machines tournantes à courant alternatif*

IEC 60034-18 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes – Partie 18: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation*

IEC 60034-18-41:2014, *Machines électriques tournantes – Partie 18-41: Systèmes d'isolation électrique sans décharge partielle (Type I) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par des convertisseurs de tension – Essais de qualification et de contrôle qualité*
IEC 60034-18-41:2014/AMD1:2019

IEC 60034-18-42:2017, *Machines électriques tournantes – Partie 18-42: Systèmes d'isolation électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension – Essais de qualification*
IEC 60034-18-42:2017/AMD1:2020

IEC 60034-19:2014, *Machines électriques tournantes – Partie 19: Méthodes spécifiques d'essai pour machines à courant continu à alimentation conventionnelle ou redressée*

IEC TS 60034-25:2014, *Machines électriques tournantes – Partie 25: Machines électriques à courant alternatif utilisées dans les entraînements électriques de puissance – Guide d'application*

IEC 60034-27-4, *Machines électriques tournantes – Partie 27-4: Mesure de la résistance d'isolement et de l'index de polarisation sur le système d'isolation des enroulements des machines électriques tournantes*

IEC 60034-29:2008, *Machines électriques tournantes – Partie 29: Techniques par charge équivalente et par superposition – Essais indirects pour déterminer l'échauffement*

IEC 60034-30-1:2014, *Machines électriques tournantes – Partie 30-1: Classes de rendement pour les moteurs à courant alternatif alimentés par le réseau (code IE)*

IEC TS 60034-30-2, *Rotating electrical machines – Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)* (disponible en anglais seulement)

IEC 60034-33: *Rotating electrical machines – Part 33: Specific technical requirements for hydro generators* (disponible en anglais seulement)

IEC 60050-411:1996, *Vocabulaire électrotechnique international – Chapitre 411: Machines tournantes*

IEC 60050-411:1996/AMD1:2007

IEC 60050-411:1996/AMD2:2021

IEC 60060-1:2010, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60085:2007, *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

IEC 60204-1:2016, *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60204-11:2018, *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 11: Exigences pour les équipements fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu et ne dépassant pas 36 kV*

IEC 60335-1:2020, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements* (disponible en anglais seulement)

IEC 60364 (toutes les parties), *Installations électriques à basse tension*

IEC 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel*

IEC 60445:2017, *Principes fondamentaux et de sécurité pour les interfaces homme-machine, le marquage et l'identification – Identification des bornes de matériels, des extrémités de conducteurs et des conducteurs*

IEC 60664-1:2020, *Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 61148:2011, *Marquage des bornes de blocs et d'ensembles d'éléments de valve et d'équipement de conversion de puissance*

IEC TS 61800-8, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface* (disponible en anglais seulement)

CISPR 11:2015, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*

CISPR 11:2015/AMD1:2016

CISPR 11:2015/AMD2:2019

CISPR 14 (toutes les parties), *Compatibilité électromagnétique – Exigences relatives aux appareils électrodomestiques, aux outils électriques et aux appareils analogues*

CISPR 16 (toutes les parties), *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-411, ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE 1 Pour des définitions autres que celles en 3.17 à 3.22 concernant le refroidissement et les fluides de refroidissement, voir l'IEC 60034-6.

NOTE 2 Pour les besoins du présent document, le terme "accord" signifie "accord entre le constructeur et l'acheteur".

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>

3.1

valeur assignée

valeur d'une grandeur fixée, généralement par le constructeur, pour un fonctionnement spécifié d'une machine

Note 1 à l'article: La tension assignée ou plage de tensions assignées est la tension assignée ou plage de tensions assignées entre phases aux bornes.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-23]

3.2**caractéristiques assignées**

ensemble des valeurs assignées et des conditions de fonctionnement

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-24]

3.3**puissance (utile) assignée**

valeur de la puissance (utile) incluse dans les caractéristiques assignées

3.4**charge**

ensemble des valeurs des grandeurs électriques, *dans le cas d'un générateur*, et mécaniques, *dans le cas d'un moteur*, qui caractérisent les exigences imposées à une machine tournante par un circuit électrique ou un dispositif mécanique à un instant donné

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-01, modifié: modification indiquée en italique]

3.5**fonctionnement à vide**

état de fonctionnement d'une machine tournant à puissance nulle (*mais en conditions normales de fonctionnement par ailleurs*)

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-02, modifié: modification indiquée en italique]

3.6**pleine charge**

charge amenant une machine à fonctionner à ses caractéristiques assignées

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-10]

3.7**valeur de pleine charge**

valeur d'une grandeur pour une machine fonctionnant à pleine charge

Note 1 à l'article: Cette notion est applicable à la puissance, au couple, au courant, à la vitesse, etc.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-11]

3.8**repos**

absence complète de tout mouvement et de toute alimentation électrique ou de tout entraînement mécanique

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-03]

3.9**service**

stipulation de la charge (des charges) à laquelle (auxquelles) la machine est soumise, y compris, le cas échéant, les périodes de démarrage, de freinage électrique, de fonctionnement à vide et de repos, ainsi que leurs durées et leur ordre de succession dans le temps

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-06]

3.10**service type**

service continu, temporaire ou périodique comprenant une ou plusieurs charges qui restent constantes pendant la durée spécifiée ou service non périodique pendant lequel généralement la charge et la vitesse varient dans la plage de fonctionnement admissible

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-13]

3.11**facteur de marche**

rapport de la période de fonctionnement en charge, y compris le démarrage et le freinage électrique, à la durée du cycle de service, exprimé en pourcentage

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-09]

3.12**couple à rotor bloqué**

couple mesuré le plus faible que développe le moteur sur son bout d'arbre d'entraînement, quand son rotor est maintenu bloqué, quelle que soit sa position angulaire, et qu'il est alimenté à tension et fréquence assignées

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-48-06]

3.13**courant à rotor bloqué**

valeur efficace la plus élevée du courant en régime établi, absorbé par le moteur, lorsqu'il est alimenté aux tension et fréquence assignées et que son rotor est maintenu bloqué quelle que soit sa position angulaire

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-48-16]

3.14**creux de couple <d'un moteur à courant alternatif>**

valeur minimale du couple asynchrone en régime établi, que le moteur développe entre la vitesse nulle et la vitesse qui correspond au couple maximal (couple de décrochage) lorsque le moteur est alimenté à la tension et à la fréquence assignées

Note 1 à l'article: Cette définition ne s'applique pas au cas de moteurs asynchrones dont le couple décroît continuellement lorsque la vitesse augmente.

Note 2 à l'article: En plus des couples asynchrones en régime établi, il existe, à des vitesses spécifiques, des couples harmoniques synchrones qui dépendent de l'angle de charge du rotor.

À de telles vitesses, le couple d'accélération peut être négatif pour certains angles de charge du rotor.

L'expérience et le calcul démontrent que c'est une condition de fonctionnement instable et qu'en conséquence les couples harmoniques synchrones n'empêchent pas l'accélération du moteur et sont exclus de cette définition.

3.15**couple maximal <d'un moteur à courant alternatif> couple de décrochage**

valeur maximale du couple asynchrone en régime établi développé par le moteur sans chute brutale de la vitesse lorsque le moteur est alimenté à la tension et à la fréquence assignées

Note 1 à l'article: Cette définition ne s'applique pas aux moteurs dont le couple diminue de manière continue quand la vitesse augmente.

3.16**couple de fonctionnement <d'un moteur synchrone>**

couple maximal développé par un moteur synchrone à la vitesse synchrone et tension, fréquence et courant d'excitation assignés

3.17**refroidissement**

opération par laquelle de la chaleur provenant des pertes produites dans une machine est cédée à un fluide de refroidissement primaire qui peut être continûment remplacé ou être lui-même refroidi dans un échangeur de chaleur par un fluide de refroidissement secondaire

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-01]

3.18**fluide de refroidissement**

fluide, liquide ou gaz, par l'intermédiaire duquel la chaleur est transférée

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-02]

3.19**fluide de refroidissement primaire**

fluide, liquide ou gaz, qui, se trouvant à une température inférieure à celle des pièces de la machine et en contact avec celles-ci, transporte la chaleur cédée par ces pièces

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-03]

3.20**fluide de refroidissement secondaire**

fluide, liquide ou gaz, qui, se trouvant à une température inférieure à celle du fluide de refroidissement primaire, transporte la chaleur cédée par ce fluide primaire au moyen d'un échangeur de chaleur ou à travers la surface extérieure de la machine

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-04]

3.21**enroulement à refroidissement direct****enroulement à refroidissement interne**

enroulement refroidi principalement par un fluide de refroidissement s'écoulant en contact direct avec la partie refroidie à travers des passages creux, tubes, conduits ou canaux qui, quelle que soit leur orientation, forment partie intégrante de l'enroulement à l'intérieur de l'isolation principale

Note 1 à l'article: Dans tous les cas où "indirect" ou "direct" n'est pas précisé, cela implique un enroulement à refroidissement indirect.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-08]

3.22**enroulement à refroidissement indirect**

tout enroulement autre qu'un enroulement à refroidissement direct

Note 1 à l'article: Dans tous les cas où "indirect" ou "direct" n'est pas précisé, cela implique un enroulement à refroidissement indirect.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-44-09]

3.23**isolation supplémentaire**

isolation indépendante prévue en plus de l'isolation principale, en vue d'assurer la protection contre les chocs électriques en cas de défaut survenant dans l'isolation principale

3.24**moment d'inertie**

somme (intégrale) des produits des masses élémentaires d'un corps par le carré de leurs distances (radiales) par rapport à un axe donné

3.25**équilibre thermique**

état atteint lorsque les échauffements des diverses parties de la machine ne varient pas de plus d'un gradient de *1 K par demi-heure*

Note 1 à l'article: L'équilibre thermique peut être déterminé à partir d'un tracé de l'échauffement en fonction du temps, lorsque les droites entre points pris en début et fin de chacun de deux intervalles de temps successifs d'au moins une demi-heure chacun ont une pente de 1 K ou moins par demi-heure ou de 2 K ou moins par heure.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-08, modifié: modification indiquée en italique]

3.26**constante de temps thermique équivalente**

constante de temps qui, en remplaçant plusieurs constantes de temps individuelles, détermine approximativement l'évolution de la température dans un enroulement après une variation de courant en échelon

3.27**enroulement enrobé**

enroulement complètement enfermé ou noyé dans un isolant moulé

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-39-06]

3.28**valeur assignée du facteur de forme du courant continu fourni à l'induit d'un moteur à courant continu par un convertisseur statique de puissance**

rapport de la valeur efficace maximale admissible du courant $I_{\text{rms,maxN}}$ à sa valeur moyenne I_{avN} (valeur moyenne intégrée sur une période) dans les conditions assignées:

$$k_{\text{fN}} = \frac{I_{\text{rms,maxN}}}{I_{\text{avN}}}$$

3.29**facteur d'ondulation du courant**

rapport de la différence entre la valeur maximale I_{max} et la valeur minimale I_{min} d'un courant ondulé au double de sa valeur moyenne I_{av} (valeur moyenne intégrée sur une période):

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2 \times I_{\text{av}}}$$

Note 1 à l'article: Pour de faibles valeurs d'ondulation du courant, le facteur d'ondulation peut être approché par la formule suivante:

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

Note 2 à l'article: La formule ci-dessus peut être utilisée en tant qu'approximation si la valeur calculée résultante de q_i est inférieure ou égale à 0,4.

Il convient que la base pour déterminer cette variation soit un mesurage effectué par oscilloscope (ou un dispositif comparable) et non un relevé d'ampèremètre. Il convient de tracer une ligne qui passe par les crêtes consécutives de l'onde de courant sur l'oscillogramme. Cette ligne constitue l'enveloppe de l'onde de courant. La variation est la différence entre les ordonnées maximale (I_{max}) et minimale (I_{min}) de cette enveloppe.

3.30**tolérance**

écart permis entre la valeur déclarée et la valeur mesurée

3.31**essai de type**

essai effectué sur une ou plusieurs machines réalisées selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

Note 1 à l'article: L'essai de type peut être aussi considéré comme valide s'il a été réalisé sur une machine ayant des déviations mineures en caractéristiques assignées ou autres. Il convient que ces déviations fassent l'objet d'un accord.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-01]

3.32**essai individuel de série**

essai auquel est soumise chaque machine en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'elle satisfait à des critères définis

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-02]

3.33**vitesse d'emballément**

vitesse maximale atteinte par le groupe convertisseur, en cas de disparition de la pleine charge de la génératrice et de non-fonctionnement du régulateur de vitesse

Note 1 à l'article: Le moteur peut également être une turbine ou un moteur à explosion.

Note 2 à l'article: Pour les moteurs, la survitesse maximale à la perte de l'alimentation est celle qu'un moteur peut atteindre lorsqu'il est entraîné par l'équipement couplé.

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-17-23]

3.34**isolation principale**

isolation principale (voir l'IEC 60034-1) d'une machine électrique tournante

3.35**machine apte à fonctionner sur convertisseur**

machine électrique conçue pour un démarrage direct en ligne et qui convient pour un fonctionnement sur convertisseur électronique de fréquence sans filtre spécifique

Note 1 à l'article: Ces moteurs comprennent, entre autres, les conceptions IEC N, NE, H ou HE ou les conceptions NEMA A, B ou C qui peuvent être soumises à des réglementations relatives au rendement énergétique dans l'UE, en Amérique du Nord ou d'autres localisations.

Note 2 à l'article: Le but d'un moteur apte à fonctionner sur convertisseur est de fonctionner dans la classe thermique du système d'isolement, mais comme le contenu harmonique de la tension de sortie du convertisseur varie en fonction des différentes typologies d'entraînement, l'utilisateur final peut exiger de se coordonner avec le constructeur.

Note 3 à l'article: Voir l'IEC TS 60034-25 pour les variations de performance de toutes les caractéristiques telles que le rendement et le bruit acoustique lors du fonctionnement sur un convertisseur de fréquence d'un moteur apte à fonctionner sur convertisseur.

3.36**machine fonctionnant exclusivement sur convertisseur**

machine électrique conçue pour fonctionner spécifiquement lorsqu'elle est alimentée par un convertisseur électronique de fréquence avec un échauffement compris dans la classe thermique d'isolation spécifiée ou la classe thermique

Note 1 à l'article: De tels moteurs ne comprennent aucune lettre de conception IEC ou de conception NEMA et

peuvent être exemptés des réglementations relatives au rendement énergétique dans l'UE, en Amérique du Nord ou d'autres localisations.

3.37

tension d'arbre

tension de la fréquence d'alimentation principale mesurée entre les extrémités de l'arbre d'une machine électrique, qui peut se produire en raison d'asymétries magnétiques

Note 1 à l'article: Pour plus d'informations relatives à la cause fondamentale de la tension d'arbre, voir 5.5 et l'Article 6 de l'IEC TS 60034-24:2009.

Note 2 à l'article: Il convient que la tension d'arbre (principalement) de la fréquence d'alimentation ne soit pas confondue avec la tension d'arbre à haute fréquence qui peut être causée dans les machines alimentées par convertisseur par un courant d'impulsion de mode commun à haute fréquence.

4 Services

4.1 Spécification du service

C'est à l'acheteur qu'incombe la responsabilité de spécifier le service. L'acheteur peut décrire le service par l'une des méthodes suivantes:

- a) numériquement, si la charge ne varie pas ou varie de façon connue;
- b) graphiquement, par une représentation des grandeurs variables en fonction du temps;
- c) en choisissant l'un des services types S1 à S10 à condition que ce service soit au moins aussi sévère que le service prévu.

Le service type doit être désigné par l'abréviation appropriée, spécifiée en 4.2, à la suite de la valeur de la charge.

Une formulation du facteur de marche est indiquée sous chaque figure appropriée de service type.

Normalement, l'acheteur ne peut pas fournir une valeur pour le moment d'inertie de la machine (J_M) ni pour l'espérance de vie thermique en valeur relative (TL) (voir l'Annexe A). Ces valeurs sont fournies par le constructeur.

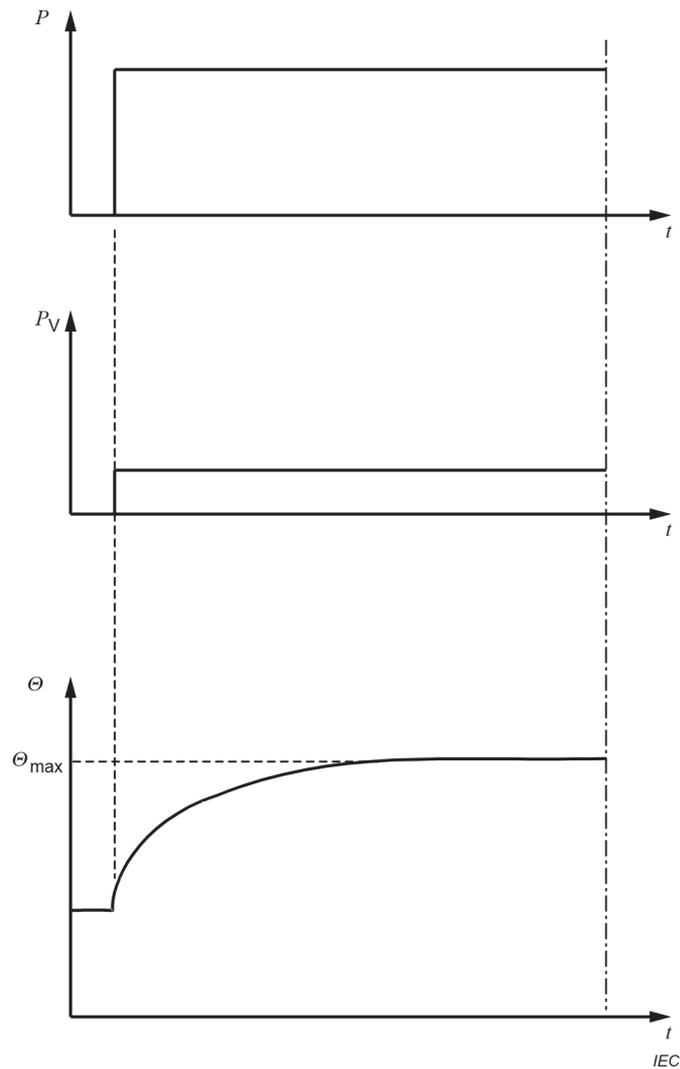
Lorsque l'acheteur ne stipule pas de service, le constructeur doit partir du principe que le service type S1 (service continu) s'applique.

4.2 Services types

4.2.1 Service type S1 – Service continu

Fonctionnement à charge constante maintenue pendant une durée suffisante pour que la machine atteigne l'équilibre thermique (voir la Figure 1).

L'abréviation appropriée est S1.

**Légende**

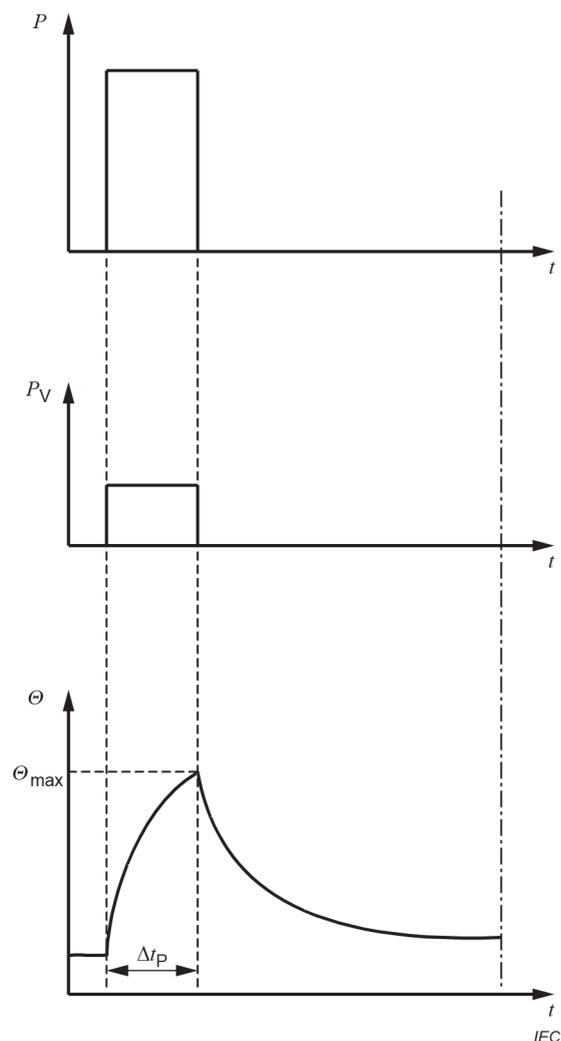
- P charge
- P_V pertes électriques
- Θ température
- Θ_{\max} température maximale atteinte
- t temps

Figure 1 – Service continu – Service type S1**4.2.2 Service type S2 – Service temporaire**

Fonctionnement à charge constante pendant un temps déterminé, inférieur à celui exigé pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un temps d'arrêt d'une durée suffisante pour rétablir à 2 K près l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement, voir la Figure 2.

L'abréviation appropriée est S2, suivie de la valeur de la durée du service.

Exemple: S2 60 min.



Légende

P charge

P_V pertes électriques

Θ température

Θ_{max} température maximale atteinte

t temps

Δt_p durée de fonctionnement à charge constante, par exemple $\Delta t_p = 60$ min pour S2 60 min

Figure 2 – Service temporaire – Service type S2

4.2.3 Service type S3 – Service intermittent périodique

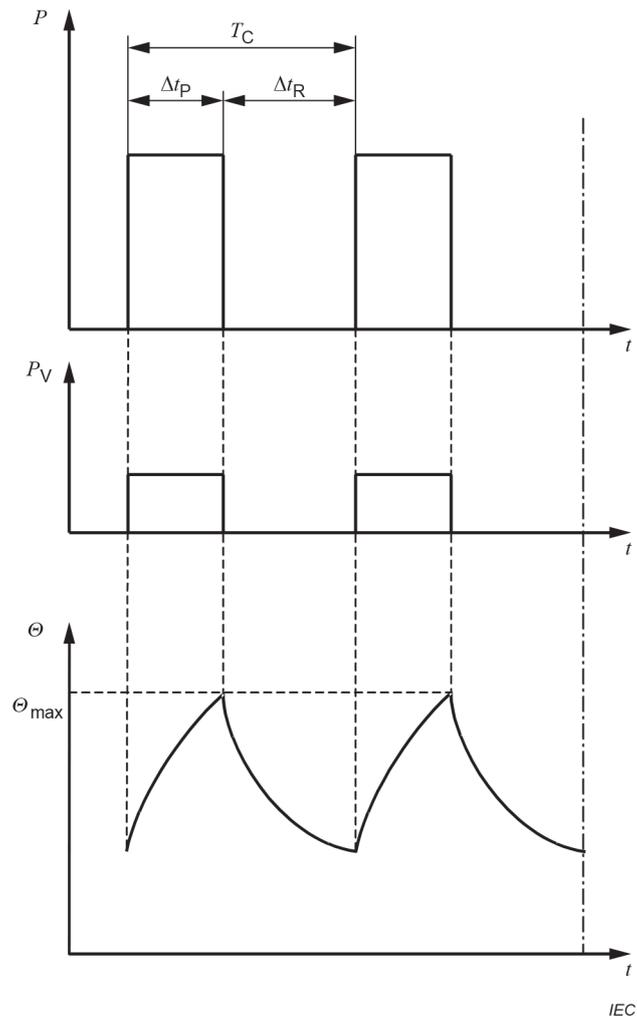
NOTE 1 Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

NOTE 2 Pour les cycles de service dont la durée de cycle T_c est différente de 10 min, voir 5.2.3.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de repos (voir la Figure 3). Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative.

L'abréviation appropriée est S3, suivie de la valeur du facteur de marche.

Exemple: S3 25 %.



Légende

- P charge
- P_V pertes électriques
- Θ température
- Θ_{\max} température maximale atteinte
- t temps
- T_C durée d'un cycle
- Δt_P durée de fonctionnement à charge constante
- Δt_R temps de repos
- Facteur de marche = $\Delta t_P / T_C$

Figure 3 – Service intermittent périodique – Service type S3

4.2.4 Service type S4 – Service intermittent périodique à démarrage

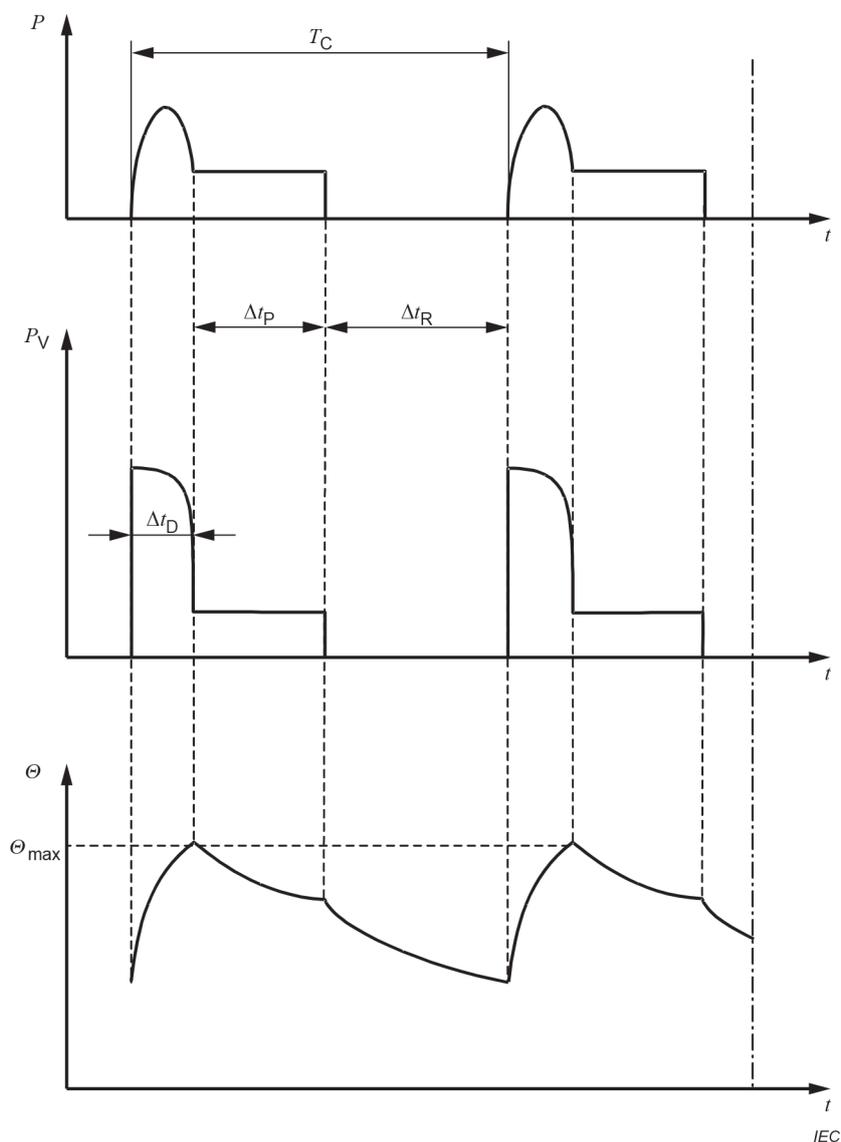
NOTE 1 Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

NOTE 2 Pour les cycles de service dont la durée de cycle T_C est différente de 10 min, voir 5.2.3.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de démarrage significatif, un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de repos (voir la Figure 4).

L'abréviation appropriée est S4, suivie des valeurs du facteur de charge, du moment d'inertie du moteur (J_M) et du moment d'inertie de la charge (J_{ext}), tous deux rapportés à l'arbre du moteur.

Exemple: S4 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{\text{ext}} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$.



Légende

P	charge	t	temps
P_V	pertes électriques	T_C	durée d'un cycle
Θ	température	Δt_D	durée de démarrage/accélération
Θ_{max}	température maximale atteinte	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante
		Δt_R	temps de repos

Facteur de marche = $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Figure 4 – Service intermittent périodique à démarrage – Service type S4

4.2.5 Service type S5 – Service intermittent périodique à freinage électrique

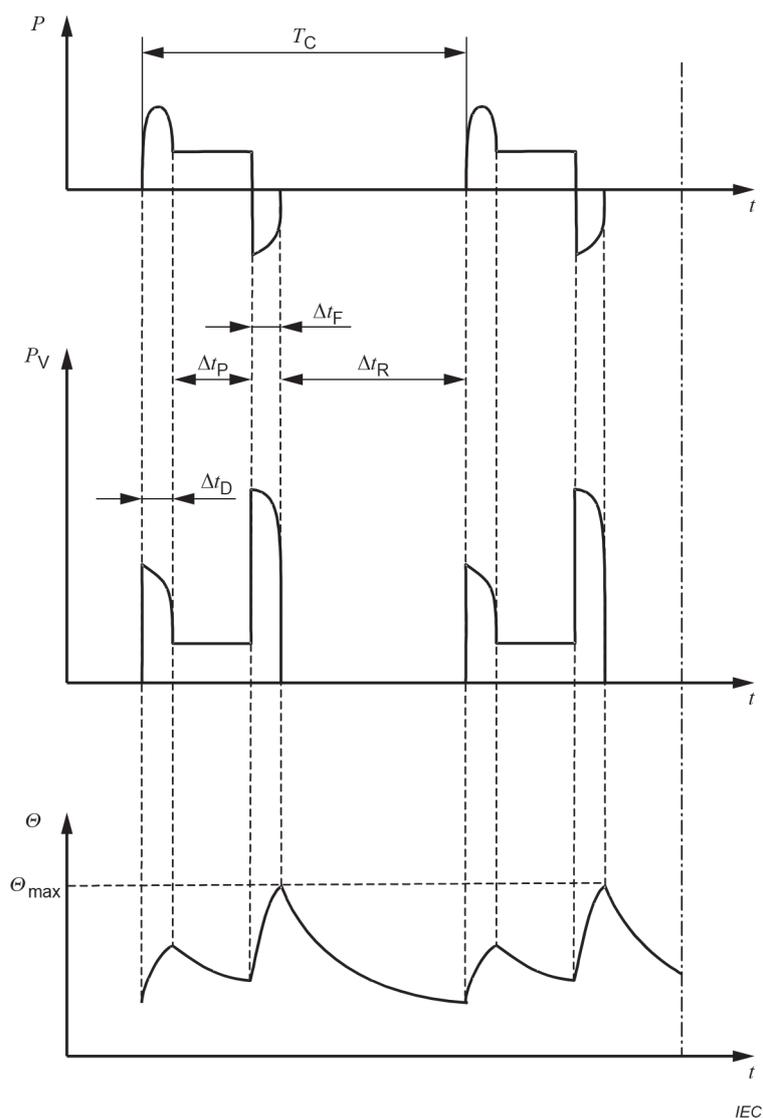
NOTE 1 Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

NOTE 2 Pour les cycles de service dont la durée de cycle T_c est différente de 10 min, voir 5.2.3.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de démarrage, un temps de fonctionnement à charge constante, un temps de freinage électrique et un temps de repos, voir la Figure 5.

L'abréviation appropriée est S5, suivie des valeurs du facteur de charge, du moment d'inertie du moteur (J_M) et du moment d'inertie de la charge (J_{ext}), tous deux rapportés à l'arbre du moteur.

Exemple: S5 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$.



Légende

P	charge	T_C	durée d'un cycle
P_V	pertes électriques	Δt_D	durée de démarrage/accélération
Θ	température	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante
Θ_{max}	température maximale atteinte	Δt_F	durée de freinage électrique
t	temps	Δt_R	temps de repos

Facteur de marche = $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

Figure 5 – Service intermittent périodique à freinage électrique – Service type S5

4.2.6 Service type S6 – Service ininterrompu périodique

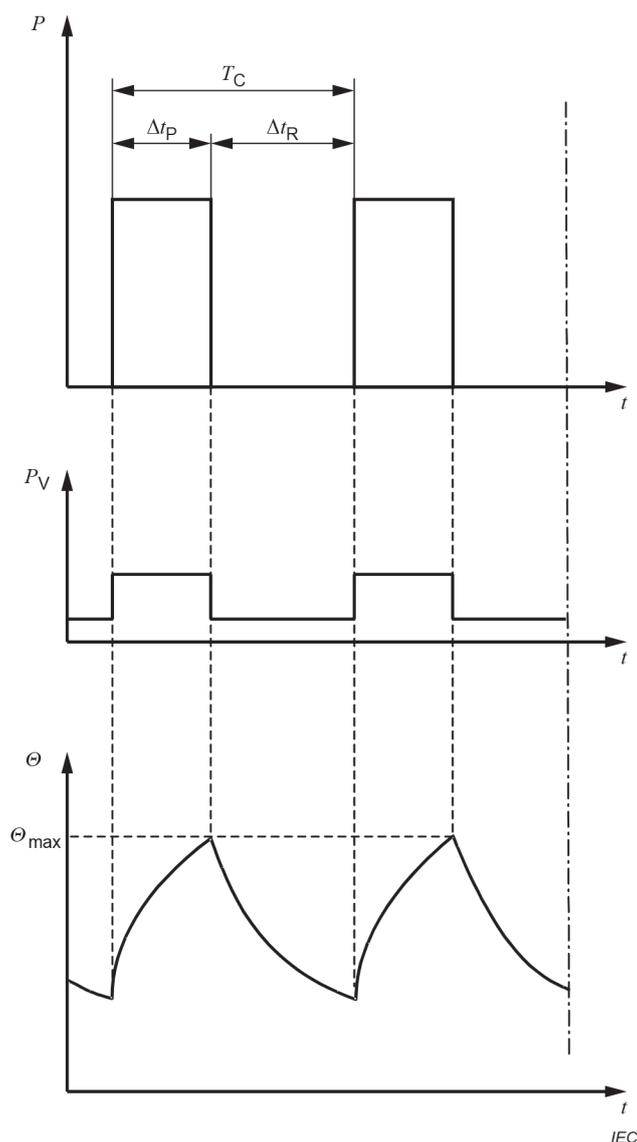
NOTE 1 Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

NOTE 2 Pour les cycles de service dont la durée de cycle T_C est différente de 10 min, voir 5.2.3.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de fonctionnement à vide. Il n'y a pas de temps de repos, voir la Figure 6.

L'abréviation appropriée est S6, suivie de la valeur du facteur de marche.

Exemple: S6 40 %.



Légende

P	charge	t	temps
P_V	pertes électriques	T_C	durée d'un cycle
Θ	température	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante
Θ_{\max}	température maximale atteinte	Δt_V	durée de fonctionnement à vide
Facteur de marche = $\Delta t_P / T_C$			

Figure 6 – Service ininterrompu périodique – Service type S6

4.2.7 Service type S7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique

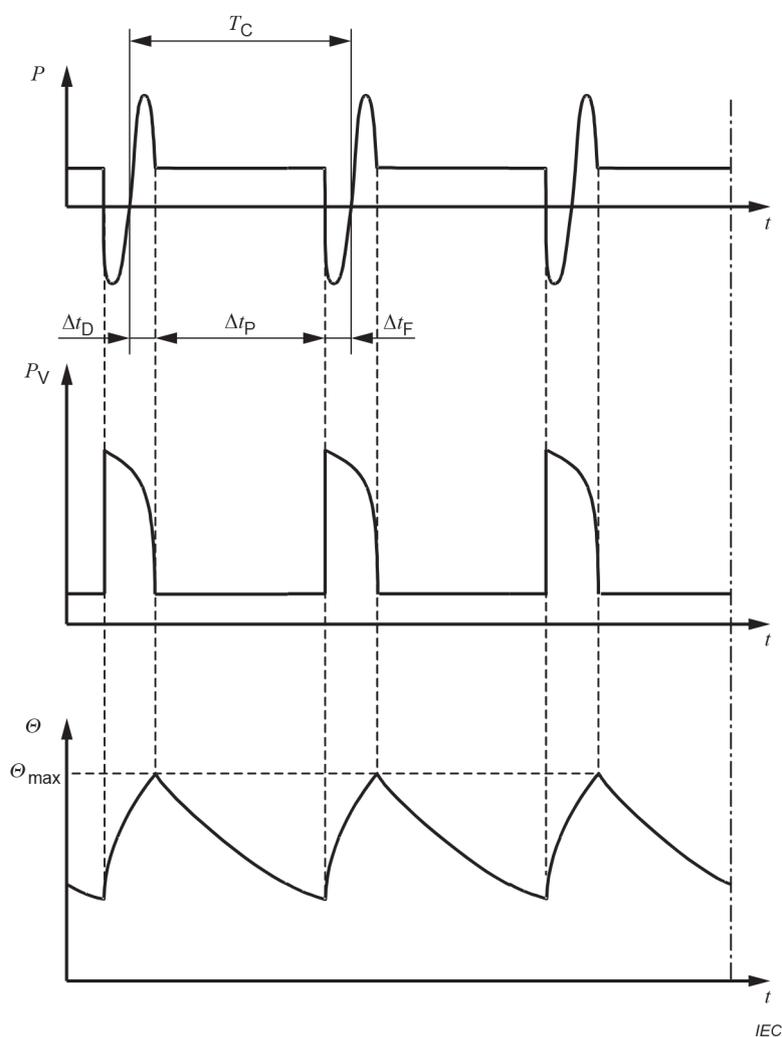
NOTE 1 Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

NOTE 2 Pour les cycles de service dont la durée de cycle T_C est différente de 10 min, voir 5.2.3.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de démarrage, un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de freinage électrique. Il n'y a pas de temps de repos, voir la Figure 7.

L'abréviation appropriée est S7, suivie des valeurs du moment d'inertie du moteur (J_M) et du moment d'inertie de la charge (J_{ext}), tous deux rapportés à l'arbre du moteur.

Exemple: S7 $J_M = 0,4 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Légende

P	charge	t	temps
P_V	pertes électriques	T_C	durée d'un cycle
Θ	température	Δt_D	durée de démarrage/accélération
Θ_{max}	température maximale atteinte	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante
Facteur de marche = 1		Δt_F	durée de freinage électrique

Figure 7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7

4.2.8 Service type S8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse

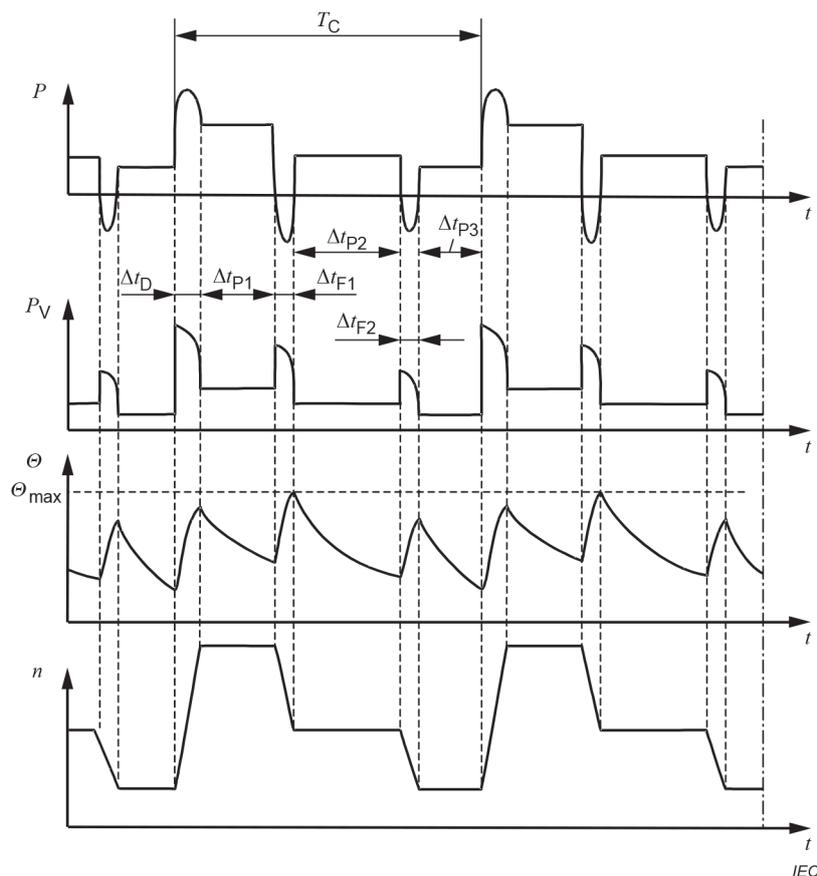
NOTE 1 Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

NOTE 2 Pour les cycles de service dont la durée de cycle T_c est différente de 10 min, voir 5.2.3.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'un ou plusieurs temps de fonctionnement à d'autres charges constantes correspondant à différentes vitesses de rotation (réalisées par exemple par changement du nombre de pôles dans le cas des moteurs à induction). Il n'y a pas de temps de repos (voir la Figure 8).

L'abréviation appropriée est S8 suivie des valeurs du moment d'inertie du moteur (J_M) et du moment d'inertie de la charge (J_{ext}), tous deux rapportés à l'arbre du moteur, de même que de la charge, de la vitesse et du facteur de marche pour chacun des régimes caractérisés par une vitesse.

Exemple:	S8 $J_M = 0,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$	$J_{ext} = 6 \text{ kg} \times \text{m}^2$	16 kW	740 min^{-1}	30 %
			40 kW	1 460 min^{-1}	30 %
			25 kW	980 min^{-1}	40 %.



Légende

P	charge	t	temps
P_V	pertes électriques	T_C	durée d'un cycle
Θ	température	Δt_D	durée de démarrage/accélération
Θ_{\max}	température maximale atteinte	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante (P1, P2, P3)
n	vitesse	Δt_F	durée de freinage électrique (F1, F2)

$$\text{Facteur de marche} = (\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C; (\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C; (\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$$

Figure 8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse – Service type S8

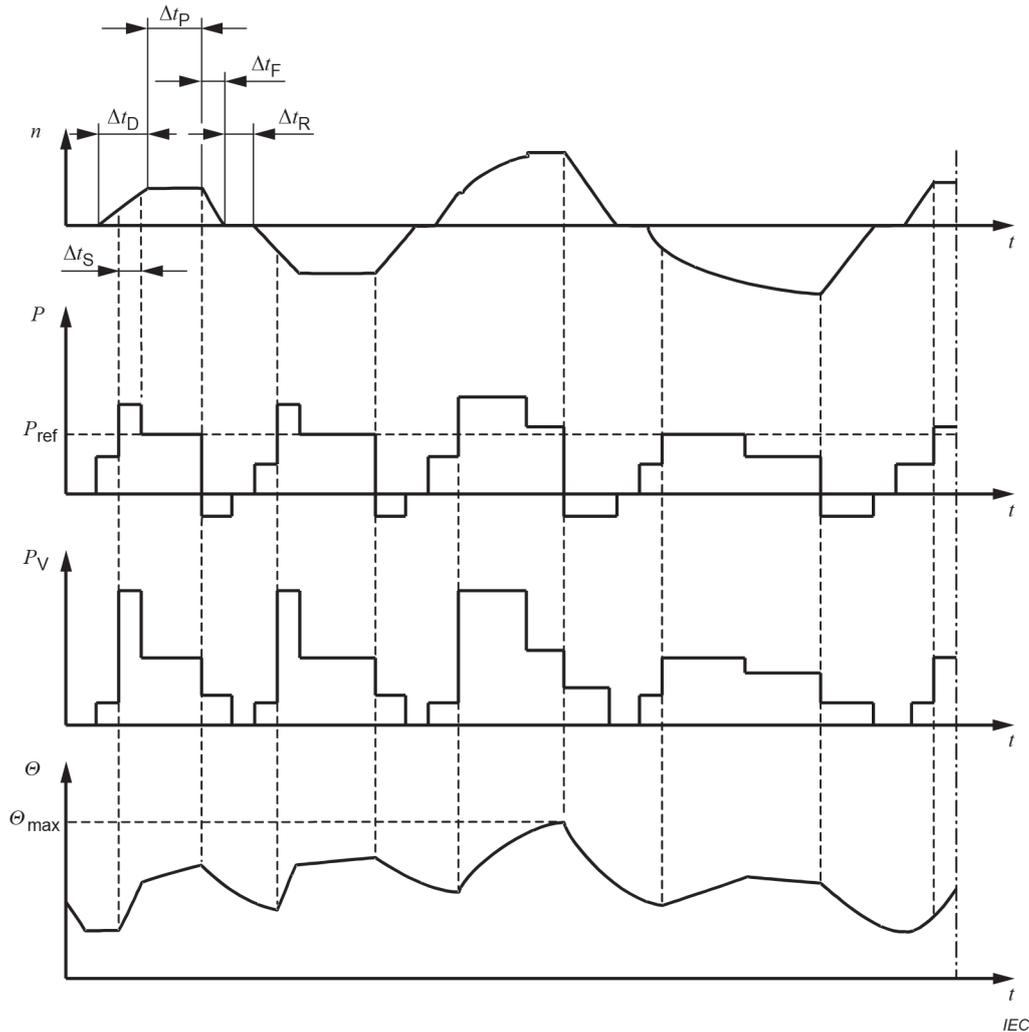
4.2.9 Service type S9 – Service à variations non périodiques de charge et de vitesse

Service dans lequel généralement la charge et la vitesse ont une variation non périodique dans la plage de fonctionnement admissible. Ce service inclut fréquemment des surcharges appliquées qui peuvent être largement supérieures à la charge de référence (voir la Figure 9).

L'abréviation appropriée est S9.

Pour ce service type, une charge constante, judicieusement choisie et fondée sur le service type S1, est prise comme valeur de référence (P_{ref} à la Figure 9) pour la notion de surcharge.

L'alimentation par convertisseur peut également être déterminée sous le service type S9 lorsque celui-ci fonctionne avec une charge dynamique non périodique et avec des variations de vitesse. Le paragraphe 4.2 de l'IEC TS 60034-25:2014 peut être pris comme référence pour déterminer le service pour l'alimentation par convertisseur.



Légende

P	charge	t	temps
P_{ref}	charge de référence	Δt_D	durée de démarrage/accélération
P_V	pertes électriques	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante
Θ	température	Δt_F	durée de freinage électrique
Θ_{max}	température maximale atteinte	Δt_R	temps de repos
n	vitesse	Δt_S	durée de fonctionnement en surcharge

Figure 9 – Service à variations non périodiques de charge et de vitesse – Service type S9

4.2.10 Service type S10 – Service avec charges et vitesses constantes discrètes

Service comprenant un nombre spécifique de valeurs discrètes de charge (ou charges équivalentes), et de vitesse si cela est applicable, chaque combinaison charge/vitesse étant maintenue pendant une durée suffisante pour permettre à la machine d'atteindre l'équilibre thermique (voir la Figure 10). La charge minimale pendant un cycle de service peut avoir la valeur zéro (à vide ou au repos).

L'abréviation appropriée est S10, suivie des valeurs réduites (p.u.) $p/\Delta t$ pour les différentes charges et leurs durées respectives, et de la valeur réduite (p.u.) TL pour l'espérance de vie thermique relative du système d'isolation. La valeur de référence pour l'espérance de vie thermique est l'espérance de vie thermique aux caractéristiques assignées pour service continu

et aux limites admissibles d'échauffement fondées sur le service type S1. Pour un temps de repos, la charge doit être indiquée par la lettre *r*.

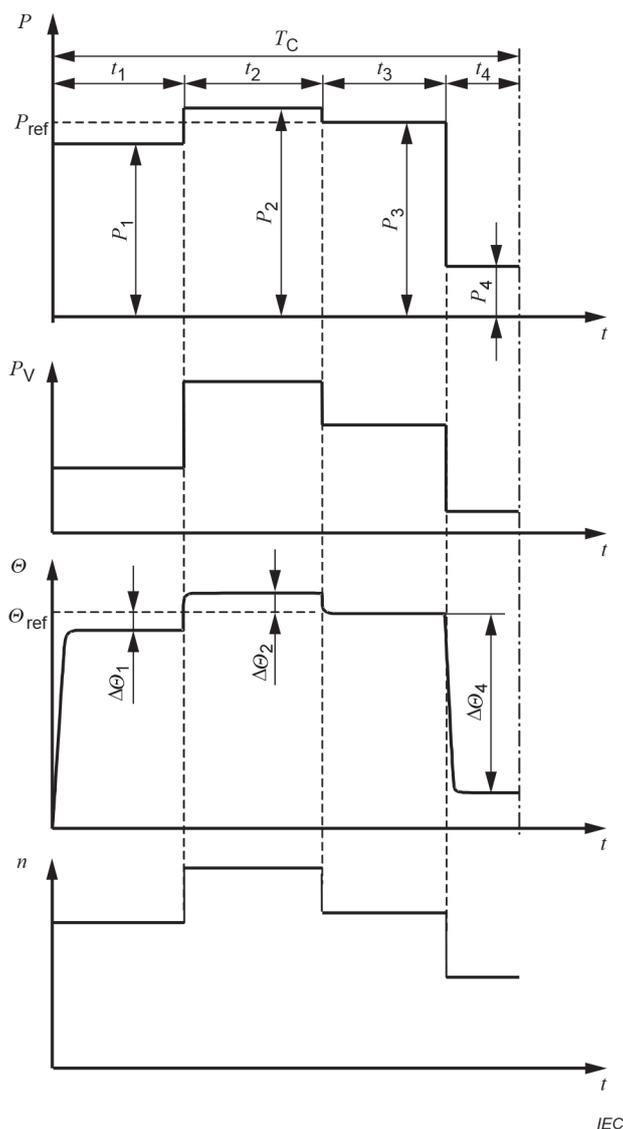
Exemple: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $TL = 0,60$.

Il convient d'arrondir la valeur de *TL* au plus proche multiple de 0,05. L'Annexe A donne des indications sur la signification de ce paramètre et la détermination de sa valeur.

Pour ce service type, une charge constante, judicieusement choisie et fondée sur le service type S1, doit être prise comme valeur de référence (P_{ref} à la Figure 10) pour les charges discrètes.

Les valeurs discrètes de charges sont habituellement des charges équivalentes obtenues par intégration en fonction du temps. Il n'est pas nécessaire que chaque cycle de charge soit exactement le même, à condition que chaque charge à l'intérieur d'un cycle soit appliquée pendant une durée suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint et que chaque cycle de charge puisse être intégré pour donner la même espérance de vie thermique relative.

L'alimentation par convertisseur peut également être déterminée sous le service type S10 lorsque celui-ci fonctionne avec une charge discrète, c'est-à-dire non dynamique, non périodique et avec des variations de vitesse. Le paragraphe 4.2 de l'IEC TS 60034-25:2014 peut être pris comme référence pour déterminer le service pour l'alimentation par convertisseur.



IEC

Légende

P	charge	t	temps
P_i	charge constante pendant un cycle	t_i	durée d'une charge constante pendant un cycle
P_{ref}	charge de référence fondée sur le service type S1	T_C	durée d'un cycle
P_V	pertes électriques	$\Delta\Theta_i$	différence entre l'échauffement de l'enroulement au cours de chacune des différentes charges pendant un cycle et l'échauffement fondé sur le service type S1 à la charge de référence
Θ	température	n	vitesse
Θ_{ref}	température à la charge de référence fondée sur le service type S1		

Figure 10 – Service avec charges constantes discrètes – Service type S10

5 Caractéristiques assignées

5.1 Attribution des caractéristiques assignées

Les caractéristiques assignées, définies en 3.2, doivent être attribuées par le constructeur. En attribuant les caractéristiques assignées, le constructeur doit choisir l'une des classes de caractéristiques assignées définies de 5.2.1 à 5.2.6. La désignation de la classe des caractéristiques assignées doit être écrite après la puissance (utile) assignée. Si aucune désignation n'est précisée, les caractéristiques assignées pour service continu s'appliquent.

Quand des composants auxiliaires (tels que des bobines d'inductance, des condensateurs, etc.) sont insérés par le constructeur en tant que partie intégrante de la machine, les valeurs assignées doivent se rapporter aux bornes d'alimentation de l'ensemble complet.

NOTE Cela ne s'applique pas aux transformateurs de puissance connectés entre la machine et l'alimentation.

Une attention spéciale est demandée lors de l'attribution de caractéristiques assignées à des machines alimentées par, ou alimentant, des convertisseurs statiques. L'IEC TS 60034-25 fournit des recommandations relatives à ce sujet.

5.2 Classes de caractéristiques assignées

5.2.1 Caractéristiques assignées pour service continu

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner pendant une durée illimitée et conformément aux exigences du présent document.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S1 et est désignée comme le service type S1.

5.2.2 Caractéristiques assignées pour service temporaire

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner pendant une durée limitée, en démarrant à la température ambiante et conformément aux exigences du présent document.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S2 et est désignée comme le service type S2.

5.2.3 Caractéristiques assignées pour service périodique

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner suivant des cycles de service, conformément aux exigences du présent document.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond à l'un des services types périodiques S3 à S8 et est désignée comme le service type correspondant.

Sauf spécifications contraires, la durée d'un cycle de service doit être de 10 min et le facteur de marche doit avoir l'une des valeurs suivantes:

15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

5.2.4 Caractéristiques assignées pour service non périodique

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner de façon non périodique, conformément aux exigences du présent document.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type non périodique S9 et est désignée comme le service type S9.

5.2.5 Caractéristiques assignées pour service avec charges et vitesses constantes discrètes

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner avec l'association des charges et des vitesses du service type S10, pendant une durée illimitée tout en satisfaisant aux exigences du présent document. La charge maximale admissible dans un cycle doit prendre en considération tous les éléments de la machine, par exemple, le système d'isolation en ce qui concerne la validité de la loi exponentielle pour l'espérance de vie thermique relative, les roulements en ce qui concerne la température, d'autres éléments en ce qui concerne la dilatation thermique. Sauf spécifications dans d'autres normes applicables de l'IEC, la charge maximale ne doit pas dépasser 1,15 fois la valeur de la charge fondée sur le service type S1. La charge minimale peut avoir la valeur zéro quand la machine fonctionne à vide ou est au repos. Des informations relatives à l'application de cette classe de caractéristiques assignées sont données à l'Annexe A.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S10 et est désignée comme le service type S10.

NOTE D'autres normes applicables de l'IEC peuvent spécifier la charge maximale en matière de limitation de la température (ou d'échauffement) d'enroulement au lieu d'une valeur relative de la charge fondée sur le service type S1.

5.2.6 Caractéristiques assignées pour charge équivalente

Caractéristiques assignées auxquelles, à des fins d'essais, la machine peut fonctionner à charge constante jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint et qui conduisent au même échauffement de l'enroulement statorique que l'échauffement moyen pendant un cycle en charge pour le service type spécifié.

Pour déterminer des caractéristiques assignées du type équivalent, il convient de prendre en compte les charge, vitesse et refroidissement variables du cycle de service.

Le cas échéant, cette classe de caractéristiques assignées est désignée par 'équ'.

5.3 Choix d'une classe de caractéristiques assignées

Une machine construite en vue d'un usage général doit avoir des caractéristiques assignées pour service continu et être capable de fonctionner en service type S1.

Si le service n'a pas été spécifié par l'acheteur, le service type S1 s'applique et les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service continu.

Lorsqu'une machine est prévue pour des caractéristiques assignées pour service temporaire, les caractéristiques assignées doivent être fondées sur le service type S2 (voir 4.2.2).

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner à des charges variables ou des charges comprenant un temps de fonctionnement à vide ou des temps pendant lesquels la machine est à l'état de repos, les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service périodique fondées sur un service type choisi parmi les services types S3 à S8 (voir 4.2.3 à 4.2.8).

Lorsqu'une machine est prévue pour alimenter de façon non périodique des charges variables à des vitesses variables, y compris à des surcharges, les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service non périodique fondées sur le service type S9 (voir 4.2.9).

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner à des charges constantes discrètes comprenant des temps de surcharge ou des temps de marche à vide (ou à l'état de repos), les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service avec charges constantes discrètes fondées sur le service type S10 (voir 4.2.10).

5.4 Attribution de la puissance (utile) à une classe de caractéristiques assignées

Dans la détermination des caractéristiques assignées:

Pour les services types S1 à S8, la ou les valeurs spécifiées de la ou des charges constantes doivent être les puissances (utiles) assignées (voir 4.2.1 à 4.2.8).

Pour les services types S9 et S10, la valeur de référence de la charge fondée sur le service type S1 doit être prise comme puissance (utile) assignée, (voir 4.2.9 et 4.2.10).

5.5 Puissance (utile) assignée

5.5.1 Génératrices de courant continu

La puissance (utile) assignée est la puissance (utile) aux bornes et elle doit être exprimée en watts (W).

5.5.2 Alternateurs

La puissance (utile) assignée est la puissance électrique apparente aux bornes et elle doit être exprimée en voltampères (VA), complétée par l'indication du facteur de puissance.

Le facteur de puissance assigné des alternateurs synchrones doit être de 0,8 inductif (surexcité), sauf spécification contraire de l'acheteur.

NOTE Un diagramme de capacité P-Q (graphique de puissance) indiquant les limites de fonctionnement fournit plus d'informations détaillées sur la performance du générateur.

5.5.3 Moteurs

La puissance (utile) assignée est la puissance mécanique disponible sur l'arbre et elle doit être exprimée en watts (W).

NOTE Il est d'usage dans un certain nombre de pays d'exprimer aussi la puissance mécanique disponible sur l'arbre en chevaux-vapeur (h.p. - *horsepower*) (1 h.p. équivaut à 745,7 W; 1 ch (cheval ou horsepower métrique) équivaut à 736 W).

5.5.4 Compensateurs synchrones

La puissance (utile) assignée est la puissance réactive aux bornes et elle doit être exprimée en voltampères (VA) en régime capacitif (sous-excité) et en régime inductif (surexcité).

5.6 Tension assignée

5.6.1 Génératrices de courant continu

Pour les génératrices de courant continu prévues pour fonctionner dans une plage de tensions d'étendue relativement faible, la puissance (utile) assignée et le courant assigné doivent, sauf spécification contraire, être applicables à la limite supérieure de la plage de tensions (voir également 7.3).

5.6.2 Alternateurs

Pour les alternateurs prévus pour fonctionner dans une plage de tensions d'étendue relativement faible, la puissance (utile) assignée et le facteur de puissance assigné doivent, sauf spécification contraire, être applicables à toute tension de la plage (voir également 7.3).

5.6.3 Moteurs à courant alternatif

Les moteurs à courant alternatif peuvent avoir deux tensions assignées ou plus, ou encore une plage de tension assignée, selon l'indication de la plaque signalétique (voir 10.4.2). Dans

l'ensemble de ces cas, les variations de tension (et de fréquence) supplémentaires selon 7.4 sont valables et n'ont pas besoin d'être indiquées séparément.

5.7 Combinaison préférentielle des tensions et des puissances (utiles)

La pratique n'est pas de construire des machines de toutes caractéristiques assignées pour toutes les tensions assignées. En général, pour les machines à courant alternatif, en se fondant sur des considérations de conception et de fabrication, les tensions assignées préférentielles supérieures à 1 kV sont indiquées dans le Tableau 1, en fonction des puissances (utiles) assignées.

Tableau 1 – Tensions assignées préférentielles

Tension assignée kV	Puissance (utile) assignée minimale kW (ou kVA)
$1,0 < U_N \leq 3,0$	100
$3,0 < U_N \leq 6,0$	150
$6,0 < U_N \leq 11,0$	800
$11,0 < U_N \leq 15,0$	2 500

5.8 Machines ayant plus d'un ensemble de caractéristiques assignées

Pour les machines qui ont plus d'un ensemble de caractéristiques assignées, la machine doit être conforme, à tous points de vue, au présent document pour chaque ensemble de caractéristiques assignées.

Pour les machines à plusieurs vitesses, des caractéristiques assignées doivent être attribuées pour chaque vitesse.

Quand une grandeur assignée (puissance utile, tension, vitesse, etc.) peut avoir par hypothèse plusieurs valeurs ou varier constamment entre deux limites, les caractéristiques assignées doivent être précisées à ces valeurs ou limites. Cette disposition ne s'applique ni aux variations de tension et de fréquence en fonctionnement définies en 7.3, ni au montage étoile-triangle pour le démarrage.

6 Conditions de fonctionnement sur site

6.1 Généralités

Sauf spécification contraire, les machines doivent être appropriées aux conditions sur site ci-après à l'extérieur du carter pendant le fonctionnement, pour l'arrêt, le stockage et le transport. Les températures froides à l'entrée du fluide de refroidissement pour différents types de refroidissements sont spécifiées dans le Tableau 5. Pour des conditions de fonctionnement sur site différentes de ces valeurs, des corrections sont données dans l'Article 8.

Les machines fonctionnant à l'extérieur de la plage de conditions sur site normalisées doivent nécessiter une attention spéciale.

6.2 Altitude

L'altitude ne doit pas dépasser 1 000 m au-dessus du niveau de la mer. Pour les altitudes supérieures, le fait que la distance de claquage diminue en fonction de la diminution de la pression atmosphérique doit être pris en considération dans la conception de la machine.

6.3 Température maximale de l'air ambiant

La température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 40 °C.

6.4 Température minimale de l'air ambiant

Sauf accord contraire conclu entre le constructeur et le client, la température de l'air ambiant ne doit pas être inférieure à -15 °C pour toutes les machines, excepté les machines équipées d'un ou plusieurs des éléments suivants; pour lesquelles la température de l'air ambiant ne doit pas être inférieure à 0 °C:

- a) une puissance (utile) assignée supérieure à 3 300 kW (ou kVA) par 1 000 min⁻¹;
- b) une puissance (utile) assignée inférieure à 600 W (ou VA);
- c) un collecteur;
- d) un roulement à coussinet;
- e) l'eau comme fluide de refroidissement primaire ou secondaire.

6.5 Température de l'eau de refroidissement

Pour la température de référence de l'eau de refroidissement, voir le Tableau 5. Pour d'autres températures de l'eau de refroidissement, voir le Tableau 10. La température de l'eau de refroidissement ne doit pas être inférieure à + 5 °C.

6.6 Arrêt, stockage et transport

Quand des températures inférieures à celles spécifiées en 6.4 sont susceptibles de se produire durant le transport, le stockage ou après installation à l'arrêt, l'acheteur doit informer le constructeur et spécifier la température minimale prévue.

Des mesures particulières peuvent être nécessaires avant d'alimenter la machine après de longues périodes d'arrêt, de stockage et de transport. Des mesures particulières peuvent également être nécessaires durant les périodes de non-fonctionnement. Se reporter aux instructions du constructeur.

6.7 Pureté de l'hydrogène de refroidissement

Les machines refroidies à l'hydrogène doivent être capables de fonctionner à la puissance (utile) assignée dans les conditions assignées avec un fluide de refroidissement contenant au moins 95 % d'hydrogène en volume.

Pour des raisons de sécurité, il convient de toujours maintenir la teneur en hydrogène à 90 % ou davantage, en admettant par hypothèse que l'autre gaz entrant dans le mélange est de l'air.

Pour calculer le rendement conformément à l'IEC 60034-2 (toutes les parties), la composition normalisée du mélange gazeux doit être de 98 % d'hydrogène et 2 % d'air en volume, à des valeurs spécifiées de pression et de température du gaz refroidi, sauf accord contraire. Les pertes par ventilation doivent être calculées à la densité correspondante.

7 Conditions de fonctionnement électriques

7.1 Alimentation électrique

Pour les machines triphasées à courant alternatif, 50 Hz ou 60 Hz, destinées à être directement reliées à un réseau de distribution ou d'utilisation, les tensions assignées doivent être dérivées des tensions nominales données dans l'IEC 60038.

NOTE Pour les machines à courant alternatif de forte puissance à haute tension, les tensions peuvent être choisies pour l'obtention de caractéristiques de fonctionnement optimales.

Pour les machines à courant alternatif connectées à des convertisseurs statiques, ces restrictions sur la tension, la fréquence et la forme d'onde ne s'appliquent pas. Dans ce cas, le choix des tensions assignées doit se faire par accord.

Pour les machines électriques aptes à fonctionner sur convertisseur ou conçues pour fonctionner sur convertisseur et équipées de systèmes d'isolation de Type I ou Type II selon l'IEC 60034-18-41 ou l'IEC 60034-18-42, le constructeur peut attribuer une classe d'isolation de la tension de choc (IVIC - *impulse voltage insulation class*) pour le système d'isolation.

Dans le cas d'une machine électrique apte à fonctionner sur convertisseur ou conçue pour fonctionner sur convertisseur dont la puissance assignée est supérieure à 1 kW avec un système d'isolation de Type I et une IVIC attribuée, il convient que le système d'isolation soit approprié à une IVIC C entre phases et une IVIC B entre phase et terre, ou comme l'utilisateur et le constructeur en ont convenu.

Dans le cas d'une machine électrique apte à fonctionner sur convertisseur ou conçue pour fonctionner sur convertisseur de tension assignée de $U_N \leq 1$ kV avec un système d'isolation de Type II et une IVIC attribuée, il convient que le système d'isolation soit approprié à une IVIC 5 entre phases et une IVIC 4 entre phase et terre, ou comme l'utilisateur et le constructeur en ont convenu.

Dans le cas d'une machine électrique apte à fonctionner sur convertisseur ou conçue pour fonctionner sur convertisseur de tension assignée de $U_N > 1$ kV avec un système d'isolation de Type II, il relève de la responsabilité du constructeur de la machine électrique de spécifier la capacité de tenue en impulsion de tension de l'isolation de l'enroulement. Comme les topologies d'entraînement varient de manière importante, et puisque les moteurs de forte puissance sont des machines fonctionnant exclusivement sur convertisseur la plupart du temps conçues à la demande selon les besoins, la pratique, dans le cas où une IVIC est attribuée n'est pas de définir un niveau d'IVIC par défaut (voir l'IEC TS 60034-25). Si la topologie du convertisseur de fréquence et le système sont connus, l'IEC TS 61800-8 peut être utilisée pour donner une indication de la tension de crête aux bornes de la machine et, de ce fait, l'IVIC nécessaire du moteur.

Dans le cas où une IVIC est attribuée, le niveau d'IVIC doit être indiqué dans la documentation et de préférence sur la plaque signalétique (voir l'Article 10).

NOTE Pour plus d'informations sur les considérations particulières pour les machines alimentées par convertisseur, voir l'IEC TS 60034-25.

Tout transfert par bus ou réenclenchement rapide d'une machine à courant alternatif, tel qu'il peut s'en produire, par exemple, en raison des exigences d'alimentation continue sous tension des codes de réseau, peut conduire à des courants de crête très élevés mettant en danger la tête de l'enroulement statorique et à un couple de crête très élevé pouvant atteindre 20 fois le couple assigné mettant en danger la structure mécanique comportant le couplage et le matériel moteur ou entraîné, si le réenclenchement est effectué sans synchronisation. Un transfert par bus ou un réenclenchement rapide n'est donc admis que s'il est spécifié et accepté par le constructeur de la machine électrique et du matériel entraîné.

Pour les machines à induction de caractéristiques assignées ≤ 10 MW ou MVA, un réenclenchement lent dépassant 1,5 fois la constante de temps en circuit ouvert est admis s'il est spécifié et accepté par le constructeur de la machine électrique et du matériel entraîné. Pour les caractéristiques assignées > 10 MW ou MVA, il convient de déterminer le temps minimal admis pour le réenclenchement lent par analyse transitoire du système au complet par l'intégrateur de système et il est admis s'il est accepté par le constructeur de la machine électrique et du matériel entraîné.

7.2 Forme et symétrie des tensions et des courants

7.2.1 Moteurs à courant alternatif

7.2.1.1 Les moteurs à courant alternatif ayant parmi leurs caractéristiques assignées le fonctionnement sur une alimentation à fréquence déterminée, alimentée par un alternateur (localement ou à travers un réseau de distribution) doivent pouvoir fonctionner sous une tension d'alimentation dont le facteur harmonique de tension (*HVF* - *harmonic voltage factor*) est inférieur ou égal à:

- 0,02 pour les moteurs monophasés et les moteurs triphasés, y compris les moteurs synchrones, mais en excluant les moteurs de conception N (voir l'IEC 60034-12), sauf déclaration contraire du constructeur;
- 0,03 pour les moteurs de conception N.

Le *HVF* doit être calculé à partir de la formule suivante:

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^k \frac{u_n^2}{n}}$$

où

u_n est le rapport de l'harmonique de tension U_n sur la tension assignée U_N ;

n est le rang de l'harmonique (non divisible par trois dans le cas d'un moteur à courant alternatif triphasé);

$$k = 13.$$

Les moteurs triphasés à courant alternatif doivent être appropriés au fonctionnement sur un système de tensions dont la composante inverse ne dépasse pas 1 % de la composante directe pendant une longue période, ou 1,5 % pendant une courte période n'excédant pas quelques minutes, et dont la composante homopolaire n'excède pas 1 % de la composante directe.

Si les limites des valeurs du *HVF* et des composantes inverse et homopolaire se trouvent atteintes simultanément en service à la charge assignée, cela ne doit pas conduire à une température néfaste dans le moteur et il est recommandé que le dépassement de l'échauffement qui en résulte par rapport aux limites spécifiées dans le présent document n'excède pas environ 10 K.

À proximité de fortes charges monophasées (par exemple, fours à induction) et dans les zones rurales, en particulier dans le cas de réseau mixte industriel et domestique, l'alimentation peut être déformée au-delà des limites fixées ci-dessus. Une telle situation nécessite de prendre des dispositions spéciales.

7.2.1.2 Les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs statiques doivent supporter un taux supérieur d'harmoniques de la tension d'alimentation; voir l'IEC TS 60034-25.

NOTE Si la tension d'alimentation est notablement non sinusoïdale, par exemple dans le cas d'alimentation par convertisseurs statiques, la valeur efficace de la forme d'onde totale et celle de l'onde fondamentale sont toutes deux appropriées pour la détermination des caractéristiques de fonctionnement d'une machine à courant alternatif.

7.2.2 Alternateurs

Les alternateurs triphasés doivent être appropriés pour l'alimentation de circuits qui, alimentés par un système de tensions équilibrées et sinusoïdales:

- a) conduisent à des courants ne dépassant pas un taux d'harmoniques de courant (*HCF* - *harmonic current factor*) de 0,05, et

- b) conduisent à un système de courants où ni la composante inverse, ni la composante homopolaire n'excèdent 5 % de la composante directe.

Le *HCF* doit être calculé à partir de la formule suivante:

$$HCF = \sqrt{\sum_{n=2}^k i_n^2}$$

où

i_n est le rapport de l'harmonique de courant I_n sur le courant assigné I_N ;

n est le rang de l'harmonique;

$k = 13$.

Si les limites de déformation et de déséquilibre se trouvent atteintes simultanément en service à la charge assignée, cela ne doit pas conduire à une température néfaste dans l'alternateur et il est recommandé que le dépassement de l'échauffement qui en résulte par rapport aux limites spécifiées dans ce document n'excède pas environ 10 K.

7.2.3 Machines synchrones

Sauf spécification contraire, les machines synchrones triphasées doivent être capables de fonctionner en permanence sur un réseau dissymétrique. Ainsi, sans qu'aucun des courants de phase ne dépasse le courant assigné, le rapport de la composante inverse du système de courants ($I(2)$) au courant assigné (I_N) ne dépasse pas les valeurs dans le Tableau 2, et doit fonctionner, en cas de défaut à des valeurs du produit de $(I(2)/I_N)^2$ par le temps (t) ne dépassant pas les valeurs du Tableau 2.

Tableau 2 – Conditions de fonctionnement déséquilibrées pour les machines synchrones

Point	Type de machines	Valeur $I_{(2)}/I_N$ maximale pour un fonctionnement permanent	Valeur $(I_{(2)}/I_N)^2 \times t$ maximale en secondes pour fonctionnement en régime de défaut
Machines à pôles saillants et machines à excitation par aimants permanents (PM)			
1	Enroulements à refroidissement indirect		
	moteurs	0,1	20
	génératrices	0,08	20
	compensateurs synchrones	0,1	20
2	Stator à refroidissement direct et/ou enroulement (refroidissement interne)		
	moteurs	0,08	15
	génératrices	0,05	15
	compensateurs synchrones	0,08	15
Machines synchrones à rotor lisse			
3	Enroulements rotoriques à refroidissement indirect		
	par air	0,1	15
	par hydrogène	0,1	10
4	Enroulements rotoriques à refroidissement direct (refroidissement interne)		
	≤ 350 MVA	0,08	8
	> 350 ≤ 900 MVA	a	b
	> 900 ≤ 1 250 MVA	a	5
	> 1 250 ≤ 1 600 MVA	0,05	5
a	Pour ces machines, la valeur $I_{(2)}/I_N$ est calculée comme suit:		
	$\frac{I_{(2)}}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$		
b	Pour ces machines, la valeur $(I_{(2)}/I_N)^2 \times t$, en secondes, est calculée comme suit:		
	$(I_{(2)}/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005 45 (S_N - 350)$ <p>où, dans les deux notes de bas de tableau, S_N est la puissance apparente assignée en mégavoltampères MVA.</p>		

7.2.4 Moteurs à courant continu alimentés par convertisseurs statiques de puissance

Dans le cas d'un moteur à courant continu alimenté par un convertisseur statique de puissance, la forme d'ondulation de la tension et du courant influent sur les caractéristiques de fonctionnement de la machine. Les pertes et l'échauffement vont s'accroître et la commutation sera plus difficile qu'avec un moteur à courant continu alimenté par une source de courant continu pur.

En conséquence, pour les moteurs de puissance (utile) assignée supérieure à 5 kW destinés à être alimentés par un convertisseur statique de puissance, il est nécessaire de concevoir leur fonctionnement à partir d'une alimentation spécifiée et si le constructeur du moteur le juge nécessaire, avec une inductance externe prévue pour réduire l'ondulation.

L'alimentation par convertisseur statique de puissance doit être caractérisée au moyen d'un code d'identification comme suit:

$$[CCC - U_{aN} - f - L]$$

où

CCC est le code d'identification du Tableau 3, issu de l'IEC 61148;

U_{aN} est constitué de trois ou quatre chiffres indiquant la valeur assignée de la tension alternative aux bornes d'entrée du convertisseur, en V;

f est constitué de deux chiffres indiquant la fréquence assignée aux bornes d'entrée, en Hz;

L est constitué de un, deux ou trois chiffres indiquant la valeur de l'inductance série à ajouter extérieurement au circuit d'induit du moteur, en mH. Si cette valeur est égale à zéro, elle est omise.

Tableau 3 – Désignation du symbole *CCC*

Code d'identification <i>CCC</i>	Configuration à une paire (Nom de configuration)	Nombre "m" de paires de bras dans l'IEC 61148	Numéro d'article et titre dans l'IEC 61148
Type A	Thyristor + Thyristor (Pont complet)	m = 3	5.1.3.2 Montage en pont
Type B	Thyristor + Diode (Pont mixte)	m = 3	Idem que ci-dessus
Type C	Thyristor + Thyristor (Pont complet)	m = 2	Idem que ci-dessus
Type D	Thyristor + Diode (Pont mixte)	m = 2	Idem que ci-dessus

Les moteurs de puissance (utile) assignée inférieure ou égale à 5 kW, au lieu d'être liés à un type spécifique de convertisseur statique de puissance, peuvent être conçus pour une utilisation avec tout convertisseur statique de puissance, avec ou sans inductance extérieure, à condition que la valeur assignée du facteur de forme pour lequel le moteur est conçu ne soit pas dépassée et que le niveau d'isolation du circuit d'induit du moteur soit adapté à la valeur assignée de la tension alternative aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance.

Dans tous les cas, l'ondulation du courant fourni par le convertisseur statique de puissance est estimée assez faible pour qu'il en résulte un facteur d'ondulation du courant inférieur à 0,1 dans les conditions assignées.

7.3 Tension au démarrage des moteurs à courant alternatif

Un moteur à courant alternatif ne démarre que si son couple de démarrage correspond convenablement au contre-couple et à l'inertie de la charge. Pour les moteurs à courant alternatif triphasés monovitesse, un moteur doit être capable de démarrer à 90 % de sa tension assignée à un couple de charge proportionnel à la vitesse au carré jusqu'à 70 % du couple assigné à la vitesse assignée; et une inertie de charge jusqu'à 50 % de l'inertie du moteur, pour autant qu'aucune valeur différente n'ait été spécifiée au préalable.

NOTE 1 Voir l'IEC TS 60034-25 pour des informations sur les machines fonctionnant exclusivement sur convertisseur.

NOTE 2 Pour les caractéristiques de démarrage des moteurs de conception N, voir l'IEC 60034-12.

7.4 Variations de tension et de fréquence en fonctionnement

Pour les machines à courant alternatif ayant parmi leurs caractéristiques assignées le fonctionnement sur une alimentation à fréquence déterminée, alimentée par un alternateur (localement ou à travers un réseau de distribution), les combinaisons des variations de tension et de fréquence sont classées en zone A ou en zone B, conformément à la Figure 11. Pour les

alternateurs ou les compensateurs synchrones couverts par l'IEC 60034-3 et pour les génératrices hydrauliques couvertes par l'IEC 60034-33 des limites de tension et de fréquence différentes s'appliquent, comme cela est défini dans ces normes.

Pour les machines à courant continu reliées directement à une alimentation à courant continu normalement constante, les zones A et B s'appliquent uniquement aux tensions.

Une machine doit être capable d'assurer sa fonction principale spécifiée dans le Tableau 4 de façon continue à l'intérieur de la zone A, mais il n'est pas nécessaire qu'elle satisfasse complètement à ses caractéristiques de fonctionnement à tension et fréquence assignées (voir le point des caractéristiques assignées à la Figure 11); elle peut présenter certains écarts. Les échauffements peuvent être supérieurs à ceux à tension et fréquence assignées.

Une machine doit être capable d'assurer sa fonction principale à l'intérieur de la zone B, mais peut présenter des écarts supérieurs à ceux de la zone A par rapport à ses caractéristiques de fonctionnement à tension et fréquence assignées. Les échauffements peuvent être supérieurs à ceux à tension et fréquence assignées et seront très probablement supérieurs à ceux de la zone A. Un fonctionnement prolongé à la périphérie de la zone B n'est pas recommandé.

Dans des applications et conditions de fonctionnement pratiques, une machine doit parfois fonctionner à l'extérieur du périmètre de la zone A. Il convient de limiter de tels écarts en valeur, durée et fréquence d'apparition. Si possible, il convient de prendre des mesures correctives dans un délai raisonnable, par exemple une diminution de puissance (utile). De telles interventions peuvent éviter une diminution de la durée de vie de la machine due aux effets de la température.

Pour les machines conçues pour fonctionner aux limites d'échauffement de leur classe thermique, le graphique de la Figure 12 fournit aux utilisateurs des machines des recommandations indicatives relatives à la diminution exigée de la puissance (utile) en fonction de la variation conjointe de la tension et de la fréquence qui peuvent limiter sans forcément l'éviter complètement une diminution de la durée de vie de la machine. La variation conjointe de la tension et de la fréquence est calculée comme suit:

$$|\Delta\phi| = \left| \frac{U-U_N}{U_N} - \frac{f-f_N}{f_N} \right|$$

Le fonctionnement à l'extérieur de la zone A peut également avoir des effets significatifs sur le bruit acoustique, la vibration et la force portante magnétique.

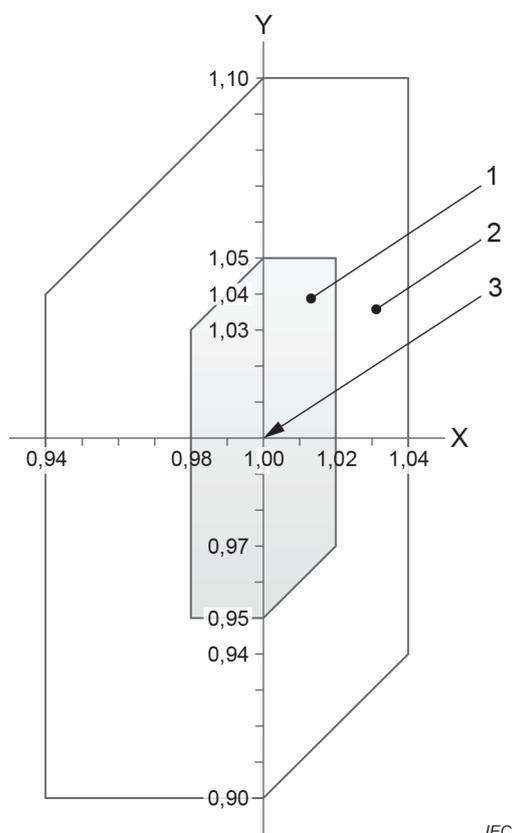
NOTE 1 Les limites d'échauffement ou les limites de température conformes au présent document sont applicables au point des caractéristiques assignées et peuvent être progressivement dépassées si le point de fonctionnement s'écarte du point des caractéristiques assignées. Pour des conditions aux limites extrêmes de la zone A, les échauffements et températures dépassent habituellement d'environ 10 K les limites spécifiées dans le présent document; la température du point chaud peut même augmenter beaucoup plus.

NOTE 2 Dans le cas où il est exigé, pour des raisons fonctionnelles, de faire fonctionner une machine de façon continue à la périphérie de la zone B à la puissance assignée, cette exigence peut être prise en considération au préalable par le client afin de spécifier les caractéristiques assignées exigées du moteur c'est-à-dire la puissance assignée à la tension assignée et à la fréquence assignée, ou spécification d'une plage de tensions assignées) et pour qu'ils soient pris en compte comme il se doit dans la conception du moteur.

Tableau 4 – Fonctions principales des machines

Point	Type de machines	Fonction principale
1	Alternateur, hors point 5	Puissance assignée apparente (kVA), au facteur de puissance assigné, lorsque celui-ci est contrôlable séparément
2	Moteur à courant alternatif, hors point 3	Couple assigné (Nm)
3	Moteur synchrone	Couple assigné (Nm) avec l'excitation maintenant soit le courant d'excitation assigné, soit le facteur de puissance assigné, lorsque celui-ci est contrôlable séparément

Point	Type de machines	Fonction principale
4	Compensateur synchrone, hors point 5	Puissance réactive assignée (kVA) à l'intérieur de la zone applicable à une génératrice sauf accord contraire, voir la Figure 11
5	Alternateur synchrone entraîné par des turbines à vapeur ou des turbines à gaz de combustion et des compensateurs synchrones avec une puissance (utile) assignée ≥ 10 MVA	Voir l'IEC 60034-3
6	Génératrice à courant continu	Puissance (utile) assignée (kW)
7	Moteur à courant continu	Couple assigné (Nm) avec l'excitation d'un moteur shunt maintenant une vitesse assignée, lorsque celle-ci est contrôlable séparément



Légende

Axe X fréquence (p.u.)

Axe Y tension (p.u.)

- 1 Zone A
- 2 Zone B (en dehors de la zone A)
- 3 Point de valeur assignée

Figure 11 – Valeurs limites de tension et de fréquence pour les moteurs et les génératrices à l'exception des génératrices et des compensateurs synchrones couverts par l'IEC 60034-3 et les génératrices hydrauliques couvertes par l'IEC 60034-33

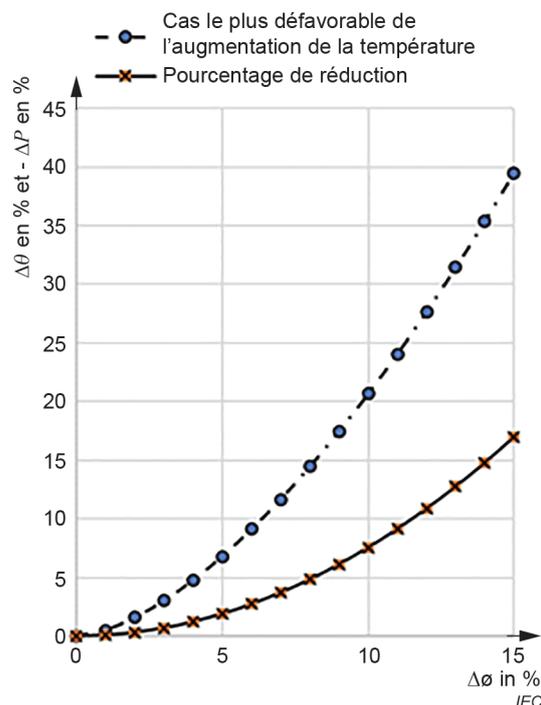


Figure 12 – Cas le plus défavorable d'échauffement ($\Delta\theta$) et diminution recommandée de la puissance (ΔP) des moteurs en fonction de la variation conjointe de la tension et de la fréquence $|\Delta\emptyset|$ (ligne directrice indicative pour les utilisateurs des moteurs et des génératrices seulement)

7.5 Machines triphasées à courant alternatif fonctionnant sur réseaux isolés

Les machines triphasées à courant alternatif doivent être capables de fonctionner en marche continue avec le neutre à un potentiel proche ou égal à celui de la terre. Elles doivent être aussi capables de fonctionner sur des réseaux isolés ayant une phase au potentiel de la terre pendant des périodes de courtes durées très peu fréquentes, par exemple telles que nécessaires pour affranchir normalement le défaut. S'il est prévu de faire fonctionner la machine en permanence, ou pendant de longues périodes, dans ces conditions, une machine de niveau d'isolation approprié pour ces conditions est exigée.

Si les enroulements n'ont pas une isolation identique aux extrémités côté phase et côté neutre, cela doit être précisé par le constructeur.

Il convient que la mise à la terre ou l'interconnexion des points neutres de la machine ne soit pas effectuée sans consultation du constructeur de la machine, en raison des dangers de circulation de courants homopolaires de toutes fréquences dans certaines conditions de fonctionnement et des risques d'incidents mécaniques sur les enroulements lors de défauts entre phase et neutre.

7.6 Niveaux de tenue en tension (crête et gradient)

Pour les machines à courant alternatif, le constructeur doit spécifier une valeur limite pour les crêtes de tension et les gradients de tension, en fonctionnement permanent, si cela est exigé par le client.

Pour les machines utilisées dans les entraînements électriques de puissance (PDS - *power drive system*), voir aussi l'IEC TS 60034-25.

Pour les machines d'une classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) spécifiée, voir l'IEC 60034-18-41 dans le cas des machines conçues pour fonctionner sans décharges partielles.

Pour les machines à courant alternatif de tension assignée de $U_N > 1$ kV, voir aussi l'IEC 60034-15.

Pour les distances de fuite et d'isolation, de matériaux conducteurs nus actifs comme le cuivre ou l'aluminium, par exemple dans la zone des bornes, voir l'IEC 60664-1. Les fils émaillés ne sont pas considérés comme des matériaux nus actifs. Pour l'évaluation de l'isolation de l'enroulement (isolation principale et fonctionnelle), voir 9.2.

8 Caractéristiques thermiques de fonctionnement et essais thermiques

8.1 Classe thermique

Une classe thermique conforme à l'IEC 60085 doit être attribuée aux systèmes d'isolation utilisés dans les machines.

Il est de la responsabilité du constructeur de la machine d'interpréter les résultats obtenus par l'essai d'endurance thermique en accord avec la partie concernée de l'IEC 60034-18.

NOTE 1 La classe thermique d'un nouveau système d'isolation n'est pas en relation directe avec l'aptitude thermique des différents matériaux qui le constituent.

NOTE 2 L'utilisation continue d'un système d'isolation existant est acceptable si l'expérience a démontré le fonctionnement satisfaisant de ce système.

8.2 Fluide de refroidissement de référence

Le fluide de refroidissement de référence, pour une méthode donnée de refroidissement de la machine, est spécifié dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Fluide de refroidissement de référence (voir aussi le Tableau 11)

Point	Fluide de refroidissement primaire	Mode de refroidissement	Fluide de refroidissement secondaire	Tableau n°	Le tableau cité en colonne 5 spécifie des limites à:	Fluide de refroidissement de référence
1	Air	Indirect	Aucun	8	L'échauffement	Air ambiant
2	Air	Indirect	Air	8		Température de référence: 40 °C
3	Air	Indirect	Eau	8		Température de référence du fluide de refroidissement primaire à l'entrée de la machine: 40 °C Température de référence de l'eau ambiante: 25 °C
4	Hydrogène	Indirect	Eau	9		
5	Air	Direct	Aucun	13	La température	Air ambiant
6	Air	Direct	Air	13		Température de référence: 40 °C
7	Air	Direct	Eau	13		Gaz à l'entrée dans la machine ou liquide à l'entrée dans l'enroulement Température de référence: 40 °C
8	Hydrogène ou liquide	Direct	Eau	13		

Les caractéristiques assignées d'une machine à refroidissement indirect et à hydroréfrigérant peuvent être attribuées en se servant soit du fluide de refroidissement primaire soit du fluide de refroidissement secondaire comme fluide de refroidissement de référence (voir aussi 10.2 pour l'information à donner sur la plaque signalétique). Il convient d'attribuer les caractéristiques assignées d'une machine submersible avec refroidissement par surface ou refroidissement de l'enveloppe par eau en utilisant le fluide de refroidissement secondaire comme fluide de refroidissement de référence.

Si un troisième fluide de refroidissement est utilisé, les échauffements doivent être mesurés au-dessus de la température du fluide de refroidissement primaire ou secondaire comme cela est spécifié dans le Tableau 5

NOTE La disposition et le refroidissement d'une machine peuvent être tels que plusieurs points du Tableau 5 sont applicables; auquel cas différents fluides de refroidissement de référence peuvent s'appliquer à différents enroulements.

8.3 Conditions des essais thermiques

8.3.1 Alimentation électrique

Pendant l'essai thermique d'une machine à courant alternatif, le *HVF* de l'alimentation ne doit pas dépasser 0,015 et la composante inverse du système de tensions doit être inférieure à 0,5 % de la composante directe, l'influence de la composante homopolaire étant éliminée.

Pendant les essais thermiques réalisés à pleine charge des machines dont la tension assignée est inférieure ou égale à 1 000 V, la fréquence moyenne de l'alimentation doit se situer à $\pm 0,1$ % de la fréquence assignée, les tensions moyennes d'alimentation doivent se situer à $\pm 0,5$ % de

la tension assignée et la charge moyenne ne doit pas être inférieure à la puissance assignée pour l'essai en cours.

NOTE Pour les machines dont la tension assignée est supérieure à 1 000 V, l'essai thermique peut être réalisé sans les restrictions liées à l'exactitude de tension et de fréquence en raison des limites de l'équipement.

Par accord, la composante inverse du système de courants peut être mesurée à la place de la composante inverse du système de tensions. La composante inverse du système de courants ne doit pas excéder 2,5 % de la composante directe.

8.3.2 Température de la machine avant l'essai

Lorsque la température d'un enroulement doit être déterminée d'après l'augmentation de la résistance, la température initiale de l'enroulement ne doit pas être différente de plus de 2 K de celle du fluide de refroidissement.

Lorsqu'une machine doit être soumise à l'essai à des caractéristiques assignées pour service temporaire (service type S2), sa température au début de l'essai ne doit pas différer de plus de 5 K de la température du fluide de refroidissement.

8.3.3 Température du fluide de refroidissement

L'essai de la machine peut être effectué à toute température disponible du fluide de refroidissement. Voir le Tableau 12 (pour les enroulements à refroidissement indirect) ou le Tableau 15 (pour les enroulements à refroidissement direct).

8.3.4 Mesurage de la température du fluide de refroidissement au cours des essais

8.3.4.1 Généralités

La valeur à adopter pour la température du fluide de refroidissement pendant un essai doit être la moyenne des relevés des indicateurs de température à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart de la durée de l'essai. Pour réduire les erreurs dues à la lenteur avec laquelle la température des grandes machines suit les variations de la température du fluide de refroidissement, toutes dispositions raisonnables doivent être prises pour réduire le plus possible ces variations.

8.3.4.2 Machines fermées sans échangeurs de chaleur (refroidies par de l'air ou du gaz environnant)

La température ambiante de l'air ou du gaz doit être mesurée au moyen de plusieurs indicateurs de température répartis autour et à mi-hauteur de la machine, à une distance de 1 m à 2 m de celle-ci. Chaque indicateur doit être à l'abri de toute chaleur rayonnée et des courants d'air.

8.3.4.3 Machines ouvertes et machines refroidies par de l'air ou du gaz à partir d'une source éloignée à travers des conduits de ventilation et machines à échangeurs de chaleur montés séparément

La température du fluide de refroidissement primaire doit être mesurée à l'entrée dans la machine.

8.3.4.4 Machines fermées à échangeurs de chaleur montés sur la machine ou incorporés

La température du fluide de refroidissement primaire doit être mesurée à l'entrée dans la machine. La température du fluide de refroidissement secondaire doit être mesurée à l'entrée dans l'échangeur de chaleur.

8.4 Échauffement d'un élément de machine

L'échauffement, $\Delta\theta$, d'un élément de machine est la différence entre la température de cet élément, mesurée par la méthode appropriée, selon 8.5, et la température du fluide de refroidissement, mesurée selon 8.3.4.

Pour la comparaison avec les limites des échauffements (voir le Tableau 8 ou le Tableau 9) ou des températures (voir le Tableau 13), lorsque cela est possible, la température doit être mesurée immédiatement avant que la machine ne soit arrêtée à la fin de l'essai thermique, comme cela est décrit en 8.7.

Lorsque cela n'est pas possible, par exemple lors du mesurage direct par la méthode de variation de résistance, voir le 8.6.2.3.

Pour les machines soumises à l'essai à leur service périodique réel (services types S3 à S8) la température à l'issue de l'essai doit être prise comme étant celle au milieu de la période de montée donnant le plus grand échauffement dans le dernier cycle de fonctionnement (mais voir aussi 8.7.3).

8.5 Méthodes de mesure de la température

8.5.1 Généralités

Trois méthodes sont admises pour déterminer les températures des enroulements et des autres éléments:

- méthode par variation de résistance;
- méthode par indicateurs internes de température (IIT);
- méthode par thermomètre.

Les différentes méthodes ne doivent pas être utilisées dans le cadre d'une vérification mutuelle.

Pour les essais indirects, voir l'IEC 60034-29.

8.5.2 Méthode par variation de résistance

La température des enroulements est déterminée à partir de l'augmentation de leur résistance.

8.5.3 Méthode par indicateurs internes de température (IIT)

La température est mesurée au moyen d'indicateurs internes de température (par exemple, thermomètres à résistance, couples thermoélectriques ou thermistances à semiconducteurs à coefficient de température négatif) introduits dans la machine lors de la construction, en des points qui deviennent inaccessibles lorsque la machine est terminée.

8.5.4 Méthode par thermomètre

La température est mesurée au moyen de thermomètres appliqués sur les surfaces accessibles de la machine terminée. Le terme "thermomètre" s'applique non seulement aux thermomètres à réservoir, mais aussi aux couples thermoélectriques et thermomètres à résistance externes non encastrés. Lorsque des thermomètres à réservoir sont utilisés en des points où il existe un champ magnétique intense, variable ou mobile, des thermomètres à alcool doivent être utilisés de préférence aux thermomètres à mercure.

8.6 Détermination de la température d'enroulement

8.6.1 Choix de la méthode

En général, pour mesurer la température des enroulements d'une machine, la méthode par variation de résistance, conforme au 8.5.2, doit être appliquée (mais voir aussi 8.6.2.3.3).

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif des machines ayant une puissance (utile) assignée égale ou supérieure à 5 000 kW (ou kVA), la méthode par indicateurs internes de température (IIT) doit être appliquée.

NOTE Si le constructeur et le client en conviennent, la méthode par variation de résistance peut être utilisée également pour les machines ayant une puissance (utile) assignée de 5 000 kW (ou kVA).

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif de machines ayant une puissance (utile) assignée inférieure à 5 000 kW (ou kVA) mais supérieure à 200 kW (ou kVA), le constructeur doit choisir soit la méthode par variation de résistance, soit la méthode par indicateurs internes de température (IIT), sauf accord contraire.

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif de machines ayant une puissance (utile) assignée inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA), le constructeur doit choisir la méthode par variation de résistance, par mesurage direct ou par méthode de superposition (voir 8.6.2.1), sauf accord contraire (mais voir aussi ci-dessous).

Pour les machines de puissance assignée inférieure ou égale à 600 W (ou VA), si les enroulements ne sont pas uniformes ou si la réalisation des connexions nécessaires entraîne de sévères complications, la température peut être déterminée au moyen de thermomètres. Les limites d'échauffement, conformes au Tableau 8, point 1d) pour la méthode par variation de résistance doivent être appliquées.

La méthode par thermomètre est admise dans les cas suivants:

- a) lorsque la détermination de l'échauffement par variation de résistance n'est pas réalisable en pratique comme, par exemple, dans le cas des bobines de commutation et enroulements compensateurs de faible résistance et, de façon générale, dans le cas des enroulements de faible résistance, notamment lorsque la résistance des jonctions et connexions représente une proportion importante de la résistance totale;
- b) enroulements en une seule couche, tournants ou fixes;
- c) lors des essais individuels de série sur machines fabriquées en grande série.

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif à un seul faisceau par encoche, la méthode par indicateurs internes de température (IIT) ne doit pas être utilisée pour vérifier la conformité au présent document: la méthode par variation de résistance doit être appliquée.

Pour vérifier en service la température de tels enroulements, un indicateur interne placé au fond de l'encoche est de peu de valeur du fait qu'il indique principalement la température du noyau de fer. Un indicateur placé entre la bobine et la cale d'encoche suit beaucoup plus fidèlement la température de l'enroulement et est donc préférable à des fins de vérification en service. Puisque la température de cet endroit peut être relativement basse, il convient de déterminer par un essai d'échauffement la relation entre la température mesurée à cet endroit et la température mesurée par variation de résistance.

Pour les autres enroulements à un seul faisceau par encoche et pour les développantes, la méthode de mesure de température par IIT ne doit pas être utilisée pour vérifier la conformité au présent document.

Pour les enroulements d'induits à collecteurs et pour les enroulements, la méthode par variation de résistance est admise. Pour les enroulements fixes des machines à courant continu ayant plus d'une couche, la méthode par indicateurs internes de température (IIT) peut être utilisée.

8.6.2 Détermination par la méthode par variation de résistance

8.6.2.1 Mesurage

L'une des versions suivantes de la méthode doit être utilisée:

- mesurage direct, au début et à la fin de l'essai, en utilisant un instrument ayant une plage appropriée;
- mesurage pour enroulements à courant continu: en mesurant le courant dans l'enroulement et la tension à ses bornes, utilisant des instruments aux plages appropriées;
- mesurage pour enroulements à courant alternatif: en injectant du courant continu dans l'enroulement, en l'absence de tension alternative;
- mesurage pour enroulements à courant alternatif: en injectant un faible courant continu dans l'enroulement, en présence de tension alternative.

8.6.2.2 Calcul

L'échauffement, $\theta_2 - \theta_a$, peut être obtenu à partir de la formule:

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1}$$

où

θ_1 est la température (°C) de l'enroulement (froid) au moment du mesurage de la résistance initiale;

θ_2 est la température (°C) de l'enroulement à la fin de l'essai thermique;

θ_a est la température (°C) du fluide de refroidissement à la fin de l'essai thermique;

R_1 est la résistance de l'enroulement à la température θ_1 (froid);

R_2 est la résistance de l'enroulement à la fin de l'essai thermique;

k est l'inverse du coefficient de variation de résistivité en fonction de la température à 0 °C du matériau conducteur.

Pour le cuivre $k = 235$

Pour l'aluminium $k = 225$, sauf spécification contraire.

Dans la pratique, il peut être commode de calculer l'échauffement par la formule équivalente suivante:

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

8.6.2.3 Correction pour les temps d'arrêt

8.6.2.3.1 Généralités

Le mesurage des températures, à la fin de l'essai thermique, par la méthode de variation de résistance exige que la machine arrive rapidement à l'arrêt. Une procédure soigneusement planifiée et un nombre approprié de personnes sont exigés.

8.6.2.3.2 Temps d'arrêt court de la machine

Si le relevé initial par variation de résistance est obtenu dans le délai spécifié dans le Tableau 6, ce relevé doit être adopté pour le mesurage de la température.

Tableau 6 – Délai

Puissance (utile) assignée (P_N)	Délai après la coupure
kW ou kVA	s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	Par accord

8.6.2.3.3 Temps d'arrêt prolongé de la machine

Si le relevé par variation de résistance ne peut pas être effectué dans le délai spécifié dans le Tableau 6, il doit être fait le plus tôt possible, mais dans un délai ne dépassant pas deux fois celui spécifié dans le Tableau 6, et des relevés supplémentaires doivent être effectués à des intervalles d'environ 1 min, jusqu'au moment auquel ces lectures commencent à montrer une diminution sensible par rapport à leurs valeurs maximales. Une courbe de ces relevés doit être tracée en fonction du temps et extrapolée à un intervalle de temps approprié selon le Tableau 6 pour la puissance (utile) assignée de la machine. Il est recommandé de tracer une courbe semi-logarithmique, où la température ou la résistance figure sur l'ordonnée logarithmique. La valeur de la température ainsi obtenue doit être considérée comme étant la température au moment de l'arrêt de la machine. Si des mesurages consécutifs démontrent une augmentation des températures après l'arrêt, la valeur la plus élevée doit être prise.

Si le relevé initial par variation de résistance ne peut être effectué qu'après un délai égal à deux fois le délai spécifié dans le Tableau 6, cette méthode de correction ne doit être utilisée que par accord.

8.6.2.3.4 Enroulements à un faisceau par encoche

Pour les machines à un faisceau par encoche, la méthode par variation de résistance par mesurage direct peut être appliquée si la machine parvient à l'arrêt dans le délai spécifié dans le Tableau 6. S'il faut à la machine plus de 90 s pour parvenir à l'arrêt après la coupure, la méthode par superposition (voir 8.6.2.1) peut être appliquée s'il y a eu un accord préalable.

8.6.3 Détermination par la méthode par indicateurs internes de température (IIT)

8.6.3.1 Généralités

Les indicateurs doivent être judicieusement répartis dans tout l'enroulement de la machine, et le nombre des indicateurs installés ne doit pas être inférieur à six.

Tous les efforts raisonnables, dans toute la mesure compatible avec la sécurité, doivent être entrepris pour placer les indicateurs aux différents points présumés les plus chauds de façon qu'ils soient efficacement protégés d'un contact avec le fluide de refroidissement primaire.

Le relevé le plus élevé des éléments IIT doit être utilisé pour déterminer la température de l'enroulement.

Les éléments IIT ou leurs connexions peuvent présenter un défaut et donner des relevés incorrects. En conséquence, si un ou plusieurs relevés s'avèrent, après analyse, être erratiques, il convient de les éliminer.

8.6.3.2 Deux ou plus de deux faisceaux par encoche

Les indicateurs doivent être placés entre les faisceaux isolés à l'intérieur de l'encoche, aux endroits présumés les plus chauds.

8.6.3.3 Un faisceau par encoche

Les indicateurs doivent être placés entre la cale d'encoche et la partie externe de l'isolation de l'enroulement, aux endroits présumés les plus chauds (mais voir aussi 8.6.1).

8.6.3.4 Développantes

Les indicateurs de température doivent être placés entre deux faisceaux adjacents de développantes, aux endroits présumés les plus chauds. La partie sensible de chaque indicateur doit être en contact étroit avec la surface du faisceau et être efficacement protégée de l'influence du fluide de refroidissement (mais voir aussi 8.6.1).

Pour placer un indicateur de température dans les développantes de machines à haute tension, il faut prendre soin que le classement par contrainte mécanique de l'isolation ne soit pas dégradé et que la différence de potentiel le long de la tête de bobine ne cause pas de problèmes. En outre, il se forme ainsi un couplage capacitif direct entre la terre du système de mesure et le système HT. La déconnexion de la terre de mesure conduit immédiatement à des surtensions sur le système de mesure. Des mesures doivent être prises pour éviter tout dommage consécutif, voire des préjudices létaux.

NOTE Si l'enroulement statorique est du type barre à refroidissement direct par un liquide, un indicateur de température installé dans la zone de la buse de chaque barre surveillant la température de sortie d'eau peut donner une indication du blocage du passage du refroidissement des brins de conducteurs.

8.6.4 Détermination par la méthode du thermomètre

Tous les efforts raisonnables, dans toute la mesure compatible avec la sécurité, doivent être entrepris pour placer les thermomètres aux différents points présumés les plus chauds (par exemple, dans les développantes à proximité du noyau de fer) de façon qu'ils soient efficacement protégés du contact avec le fluide de refroidissement primaire et qu'ils soient en bon contact thermique avec l'enroulement ou autre élément de machine.

Quel que soit le thermomètre, le relevé le plus élevé doit être pris comme valeur de la température de l'enroulement ou de l'élément de machine.

8.7 Durée des essais thermiques

8.7.1 Caractéristiques assignées pour service continu

L'essai doit durer jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint.

8.7.2 Caractéristiques assignées pour service temporaire

La durée de l'essai doit être la durée qui est indiquée dans les caractéristiques assignées.

8.7.3 Caractéristiques assignées pour service périodique

Normalement, les caractéristiques assignées pour charge équivalente (voir 5.2.6) attribuées par le constructeur doivent être appliquées jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint. S'il y a accord pour effectuer un essai au service réel, le cycle de charge spécifié doit être appliqué jusqu'à l'obtention de cycles de température pratiquement identiques. Le critère doit être que la droite reliant les points correspondants de deux cycles de charge successifs sur un diagramme de température a une pente inférieure à 1 K par demi-heure. Si cela est nécessaire, les mesurages doivent être effectués à intervalles raisonnables pendant un certain laps de temps (voir 3.25).

8.7.4 Caractéristiques assignées pour service non périodique et caractéristiques assignées pour service avec charges constantes discrètes

Les caractéristiques assignées pour charge équivalente (voir 5.2.6), attribuées par le constructeur doivent être appliquées jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint.

8.8 Détermination de la constante de temps thermique équivalente des machines pour service type S9

La constante de temps thermique équivalente (avec une ventilation telle qu'en conditions normales de fonctionnement) appropriée pour la détermination approchée de l'évolution de la température peut être déterminée à partir de la courbe de refroidissement tracée selon 8.6.2.3. La valeur de la constante de temps est égale à 1,44 fois (c'est-à-dire $1/\ln(2)$ fois) le délai entre la déconnexion du moteur et le refroidissement à une température correspondant à la moitié de l'échauffement de la machine à pleine charge.

8.9 Mesurage de la température des roulements

L'une ou l'autre des méthodes par thermomètre ou par indicateur interne de température (IIT) peut être utilisée.

Le point de mesure doit être placé aussi près que possible de l'un des deux emplacements spécifiés dans le Tableau 7.

Tableau 7 – Points de mesure

Type de roulement	Point de mesure	Emplacement du point de mesure
À roulement à billes ou à rouleaux	A	Dans le logement du roulement préférentiellement en contact avec la bague extérieure du roulement, mais à une distance de celle-ci ^b ne dépassant pas 10 mm ^a
	B	Surface extérieure du logement du roulement le plus près possible de la bague extérieure du roulement
À coussinet ou à patins oscillants	A	Dans la zone de pression de la coquille du coussinet ^c et à une distance du film d'huile ^b ne dépassant pas 10 mm ^a .
	B	À un autre endroit de la coquille du coussinet
<p>^a La distance est mesurée à partir du point le plus proche de l'indicateur interne de température ou du réservoir du thermomètre.</p> <p>^b Dans le cas d'une machine à rotor extérieur, le point A se trouve dans la partie fixe à une distance de la bague intérieure ne dépassant pas 10 mm et le point B se trouve sur la surface extérieure de la partie fixe, aussi près que possible de la bague intérieure.</p> <p>^c La coquille du coussinet est la partie supportant le matériau du coussinet qui est pressé et fixé dans le logement. La zone de pression est la portion de circonférence qui supporte la combinaison du poids du rotor et des charges radiales.</p>		

La résistance thermique entre l'indicateur interne de température et l'objet dont est mesurée la température doit être réduite le plus possible; par exemple, chaque interstice d'air doit être comblé par un produit conducteur de la chaleur.

NOTE Entre les points de mesure A et B comme entre ces points et le point le plus chaud du roulement, il existe des différences de température qui dépendent, entre autres, de la dimension du roulement. Pour les roulements à coussinets cylindriques emmanchés en force et pour les roulements à billes ou à rouleaux d'un diamètre intérieur inférieur ou égal à 150 mm, il peut être pris pour hypothèse que les différences de température qui se produisent entre les points de mesure A et B sont négligeables. Dans le cas des roulements plus grands, la différence de température entre les points de mesure A et B est approximativement 15 K.

8.10 Limites d'échauffement et de température

8.10.1 Généralités

Des limites sont données pour marche aux conditions de fonctionnement sur site, spécifiées à l'Article 6, et aux caractéristiques assignées pour service continu (conditions de référence), suivies par des règles donnant les corrections à ces limites en cas de marche sur site avec d'autres conditions de fonctionnement et avec d'autres caractéristiques assignées. Des règles additionnelles donnent les corrections aux limites pendant l'essai thermique en cas de conditions de fonctionnement au site d'essai différentes de celles au site de fonctionnement.

Il est sous-entendu que la température du point le plus chaud de chaque enroulement dans les conditions de référence, c'est-à-dire les conditions assignées, ne dépasse pas en général la température de classe thermique convenue du système d'isolation.

Les limites sont précisées par rapport au fluide de refroidissement de référence spécifié dans le Tableau 5.

Une règle est donnée pour tenir compte de la pureté de l'hydrogène de refroidissement.

8.10.2 Enroulements à refroidissement indirect

Les échauffements dans les conditions de référence ne doivent pas excéder les limites données dans le Tableau 8 (refroidissement par air) ou dans le Tableau 9 (refroidissement par hydrogène) selon le cas, méthode IIT et R si cela est applicable.

NOTE Les valeurs mesurées des différences de température entre la méthode IIT et la méthode R peuvent être considérablement supérieures ou inférieures aux limites de températures spécifiées dans le Tableau 8 ou le Tableau 9, selon la conception de la machine et le système de refroidissement. L'intention n'est pas de comparer la méthode IIT et la méthode R.

Dans des conditions différentes de fonctionnement sur site, pour des caractéristiques assignées autres que celles pour service continu et pour des tensions assignées supérieures à 12 000 V, les limites doivent être corrigées selon le Tableau 10. (Voir aussi le Tableau 11 pour une limite à la température de fluide de refroidissement prise pour hypothèse dans le Tableau 10.)

En cas de relevés de thermomètres effectués selon 8.6.1, la limite d'échauffement doit être conforme au Tableau 8.

Si pour les enroulements à refroidissement indirect par air, les conditions de fonctionnement sur site d'essai diffèrent de celles sur site de fonctionnement, les limites corrigées données dans le Tableau 12 doivent s'appliquer au site d'essai.

Si les limites corrigées données dans le Tableau 12 conduisent à des températures admissibles au site d'essai que le constructeur juge excessives, la méthode d'essai et les limites doivent faire l'objet d'un accord.

Si l'échauffement doit être mesuré au-dessus de la température de l'eau à son entrée dans le réfrigérant, il convient en toute rigueur de tenir compte de l'effet de l'altitude sur la différence de température entre l'air et l'eau. Toutefois, pour la plupart des conceptions de réfrigérants, l'effet est faible, la différence augmentant avec l'altitude au taux d'environ 2 K pour 1 000 m. Si une correction est nécessaire, il convient qu'elle fasse l'objet d'un accord.

Aucune correction sur le site d'essai n'est donnée pour les enroulements à refroidissement indirect par hydrogène, car il est très improbable qu'ils soient soumis à l'essai à pleine charge ailleurs que sur leur site de fonctionnement.

Tableau 8 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par l'air

Méthode de mesure		Classe thermique											
		130 (B)			155 (F)			180 (H)			200 (N)		
Point		Th	R	IIT	Th	R	IIT	Th	R	IIT	Th	R	IIT
	Th = Thermomètre, R = Résistance, IIT = Indicateur interne de température												
	Partie de la machine												
1a)	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance (utile) supérieure ou égale à 5 000 kW (ou kVA)	–	80	85 ^a	–	105	110 ^a	–	125	130 ^a	–	145	150 ^a
1b)	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance (utile) supérieure à 200 kW (ou kVA), mais inférieure à 5 000 kW (ou kVA)	–	80	90 ^a	–	105	115 ^a	–	125	140 ^a	–	145	160 ^a
1c)	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance (utile) inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA) autres que ceux des points 1d) ou 1e) ^b	–	80	–	–	105	–	–	125	–	–	145	–
1d)	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance (utile) inférieure à 600 W (ou VA) ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–	–	150	–
1e)	Enroulements à courant alternatif de machines qui sont refroidies naturellement, sans ventilateur (IC 40) et/ou à enroulements enrobés ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–	–	150	–
2	Enroulements d'induit reliés à des collecteurs	70	80	–	85	105	–	105	125	–	125	145	–
3	Enroulements des machines à courant alternatif et à courant continu, autres que celles du point 4	70	80	–	85	105	–	105	125	–	125	145	–
4a)	Enroulements des machines synchrones à rotor cylindrique, avec enroulement à courant continu logé dans les encoches, excepté les moteurs à induction synchrones	–	90	–	–	115	–	–	135	–	–	155	–
4b)	Enroulements isolés fixes à plus d'une couche des machines à courant continu	70	80	90	85	105	115	105	125	140	125	145	160
4c)	Enroulements de faible résistance ayant plus d'une couche des machines à courant continu, et enroulements de compensation des machines à courant continu	80	80	–	100	105	–	125	125	–	145	145	–
4d)	Enroulements à une seule couche des machines à courant alternatif et à courant continu avec surfaces exposées nues ou en métal verni ^c	90	90	–	110	115	–	135	135	–	155	155	–

^a Pour la correction dans le cas des enroulements à courant alternatif à haute tension, voir le point 4 dans le Tableau 10.

^b Lors de l'application de la méthode d'essai par superposition à des enroulements de machines de puissance assignée inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA) avec des classes thermiques 130 (B) et 155 (F), les limites des échauffements prévues pour la méthode par variation de résistance peuvent être dépassées de 5 K.

^c Y compris également les enroulements à plusieurs couches, à condition que les couches inférieures soient chacune en contact avec le fluide de refroidissement primaire en circulation.

Tableau 9 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par hydrogène

Classe thermique		130 (B)		155 (F)	
Méthode de mesure		Résistance	IIT	Résistance	IIT
IIT = Indicateur interne de température		K	K	K	K
Point					
1	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance (utile) supérieure ou égale à 5 000 kW (ou kVA) ou dont la longueur du noyau axial est égale ou supérieure à 1 m				
	Pression absolue d'hydrogène ^b ≤ 150 kPa (1,5 bar)	–	85 ^a	–	105 ^a
	> 150 kPa ≤ 200 kPa (2,0 bar)	–	80 ^a	–	100 ^a
	> 200 kPa ≤ 300 kPa (3,0 bar)	–	78 ^a	–	98 ^a
	> 300 kPa ≤ 400 kPa (4,0 bar)	–	73 ^a	–	93 ^a
	> 400 kPa	–	70 ^a	–	90 ^a
2a	Enroulements à courant alternatif de machine de puissance (utile) inférieure à 5 000 kW (ou kVA) et dont la longueur du noyau axial est inférieure à 1 m	80	85 ^a	100	110 ^a
2b	Enroulements à courant continu des machines à courant alternatif et à courant continu autres que celles des points 3 et 4	80	–	105	–
3	Enroulements à courant continu des machines équipées de rotors cylindriques	85	–	105	–
4a	Enroulements de faible résistance, à plus d'une couche, et enroulements de compensation	80	–	100	–
4b	Enroulements à une couche avec surfaces exposées nues ou en métal verni ^c	90	–	110	–

^a Pour la correction dans le cas des enroulements à courant alternatif à haute tension, voir le point 4 dans le Tableau 10.

^b Ce point est le seul pour lequel la limite de l'échauffement admissible dépend de la pression d'hydrogène.

^c Y compris également les enroulements à plusieurs couches, à condition que les couches inférieures soient chacune en contact avec le fluide de refroidissement primaire en circulation.

Tableau 10 – Corrections aux limites des échauffements sur le site de fonctionnement des enroulements à refroidissement indirect pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas celles de référence

Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées	Corrections aux limites d'échauffement ($\Delta\theta$) dans le Tableau 8 et dans le Tableau 9	Point
1a	<p>Température maximale de l'air ambiant ou du gaz de refroidissement à l'entrée de la machine (θ_c) et pour des altitudes inférieures ou égales à 1 000 m.</p> <p>Si la différence entre la classe thermique et la limite observable de température, consistant en la somme de la température froide à l'entrée du fluide de refroidissement de référence 40 °C et la limite de l'échauffement selon le Tableau 8 et le Tableau 9, est inférieure ou égale à 5 K:</p> <p>Pour une altitude supérieure, remplacer les 40 °C par la valeur donnée dans le Tableau 11.</p>	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Augmentées de la différence entre la température du fluide de refroidissement et 40 °C
1b	<p>Température maximale de l'air ambiant ou du gaz de refroidissement à l'entrée de la machine (θ_c) et pour des altitudes inférieures ou égales à 1 000 m.</p> <p>Si la différence entre la classe thermique et la limite observable de température, consistant en la somme de la température froide à l'entrée du fluide de refroidissement 40 °C et la limite de l'échauffement selon le Tableau 8 et le Tableau 9 est plus grande que 5 K:</p> <p>Pour une altitude supérieure, remplacer les 40 °C par la valeur donnée dans le Tableau 11.</p>	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	<p>La limite d'échauffement $\Delta\theta$ pour la température froide du gaz θ_c doit être</p> $\Delta\theta = \Delta\theta_{\text{ref}} \frac{\theta_{\text{ThCl}} - \theta_c}{\theta_{\text{ThCl}} - \theta_{\text{C.ref}}}$ <p>où</p> <p>$\Delta\theta_{\text{ref}}$ est la limite d'échauffement selon le Tableau 8 ou le Tableau 9 à 40 °C;</p> <p>θ_{ThCl} est la température de la classe thermique (par exemple, 130 °C ou 155 °C);</p> <p>$\theta_{\text{C.ref}}$ est la température froide du fluide de refroidissement de référence (40 °C).</p>
1c		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Réduites de la différence entre la température du fluide de refroidissement et 40 °C
1d		$\theta_c < 0\text{ °C}$ ou $\theta_c > 60\text{ °C}$	Par accord

Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées	Corrections aux limites d'échauffement ($\Delta\theta$) dans le Tableau 8 et dans le Tableau 9	Point
2	Température maximale de l'eau à l'entrée des hydroréfrigérants ou température maximale de l'eau ambiante pour les machines submersibles à refroidissement par la surface ou machines à refroidissement par l'enveloppe (θ_w)	$5\text{ °C} \leq \theta_w \leq 25\text{ °C}$	Augmentées de 15 K et de la différence entre 25 °C et θ_w
		$\theta_w > 25\text{ °C}$	Augmentées de 15 K et réduites de la différence entre θ_w et 25 °C
3a	Altitude (H) – règle générale	$1\ 000\text{ m} < H < 4\ 000\text{ m}$ et température maximale de l'air ambiant non spécifiée	Pas de correction. La diminution du pouvoir de refroidissement résultant de l'altitude doit, par hypothèse, être compensée par une réduction de la température ambiante maximale au-dessous de 40 °C et que les températures totales ne dépasseront en conséquence pas 40 °C plus les échauffements du Tableau 8 et du Tableau 9 ^a
		$H > 4\ 000\text{ m}$	Par accord
3b	Altitude (H) – spécifique à une génératrice de centrale électrique	selon spécification de l'acheteur	Il convient de corriger les capacités des génératrices de centrale électrique en fonction de l'altitude (pression atmosphérique). Une correction des capacités n'est pas nécessaire pour les génératrices de centrale électrique si la pression absolue du fluide de refroidissement est maintenue à un niveau constant quelle que soit l'altitude.
4	Tension assignée de l'enroulement statorique (U_N)	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ pour les indicateurs internes de température (IIT) doivent être réduites de 1 K par tranche de 1 kV (ou fraction de tranche) à partir de 12 kV jusqu'à 24 kV compris
		$U_N > 24\text{ kV}$	Par accord
5 ^b	Caractéristiques assignées pour service temporaire (S2), avec puissance (utile) assignée inférieure à 5 000 kW (kVA)		Augmentées de 10 K
6 ^b	Caractéristiques assignées pour service non périodique (S9)		$\Delta\theta$ peuvent être dépassées pendant de courtes périodes lors du fonctionnement de la machine
7 ^b	Caractéristiques assignées pour service avec charges constantes discrètes (S10)		$\Delta\theta$ peuvent être dépassées pendant des périodes discrètes lors du fonctionnement de la machine.
^a En prenant pour hypothèse que la réduction de la température ambiante est de 1 % des limites d'échauffement par tranche de 100 m au-dessus de 1 000 m, la température ambiante maximale du site de fonctionnement peut être telle qu'indiquée dans le Tableau 11.			
^b Uniquement pour les enroulements refroidis par air.			

Tableau 11 – Températures ambiantes maximales estimées

Altitude m	Classe thermique			
	130 (B)	155 (F)	180 (H)	200 (N)
	Température °C			
1 000	40	40	40	40
2 000	32	30	28	26
3 000	24	19	15	12
4 000	16	9	3	0

8.10.3 Enroulements à refroidissement direct

Les températures dans les conditions de référence ne doivent pas excéder les limites données dans le Tableau 13.

Pour des conditions différentes de fonctionnement sur site, les limites doivent être corrigées selon le Tableau 14.

Si les conditions de fonctionnement sur site d'essai diffèrent de celles sur site de fonctionnement, les limites corrigées données dans le Tableau 15 doivent s'appliquer au site d'essai.

Si les limites corrigées données dans le Tableau 15 conduisent à des températures admissibles au site d'essai que le constructeur juge excessives, la méthode d'essai et les limites doivent faire l'objet d'un accord.

8.10.4 Corrections pour tenir compte de la pureté de l'hydrogène au cours de l'essai

Pour les enroulements à refroidissement direct ou indirect par hydrogène, aucune correction ne doit être effectuée sur les limites d'échauffement ou de température totale, si la proportion de l'hydrogène dans le fluide de refroidissement est comprise entre 95 % et 100 %.

8.10.5 Enroulements continuellement fermés sur eux-mêmes, circuits magnétiques et tous éléments de structure (à l'exclusion des roulements), qu'ils soient ou non en contact direct avec une isolation

L'échauffement ou la température ne doit pas être préjudiciable à l'isolation de cette partie ou de toute autre partie avoisinante.

8.10.6 Collecteurs et bagues, ouverts ou enfermés, et leurs balais et porte-balais

La température ou l'échauffement de collecteur, bague, balai ou porte-balais quelconque ne doit pas être préjudiciable à l'isolation de cette partie ou de toute autre partie avoisinante.

La température ou l'échauffement d'un collecteur ou de bagues ne doit pas dépasser le niveau auquel le passage du courant peut être assuré dans toute la plage de fonctionnement, pour la combinaison de la nuance de balai et du matériau du collecteur ou des bagues.

Tableau 12 – Limites corrigées des échauffements sur le site d'essai ($\Delta\theta_T$) des enroulements à refroidissement indirect par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai

Point	Conditions d'essai		Limites corrigées sur le site d'essai $\Delta\theta_T$
1	Différence des températures du fluide de refroidissement de référence au site d'essai (θ_{cT}) et au site de fonctionnement (θ_c)	Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30$ K	$\Delta\theta_T = \Delta\theta$
		Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30$ K	Par accord
2	Différence des altitudes au site d'essai (H_T) et au site de fonctionnement (H)	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $H_T \leq 1\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 - \frac{H - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$H \leq 1\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - H}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$H > 4\ 000\text{ m}$ ou $H_T > 4\ 000\text{ m}$	Par accord
NOTE $\Delta\theta$ est donné dans le Tableau 8 et est corrigé, le cas échéant, conformément au Tableau 10.			

Tableau 13 – Limites des températures des enroulements à refroidissement direct et de leurs fluides de refroidissement

Classe thermique		130 (B)			155 (F)		
Méthode de mesure		Thermomètre °C	Résistance °C	IIT °C	Thermomètre °C	Résistance °C	IIT °C
Point	Partie de la machine						
1	Fluide de refroidissement à la sortie des enroulements à courant alternatif à refroidissement direct. Ces valeurs de température sont préférentielles par rapport à celles du point 2, pour la définition des caractéristiques assignées.						
1a)	Gaz (air, hydrogène, hélium, etc.)	110	–	–	130	–	–
1b)	Liquide (eau, huile, etc.)	90	–	–	90	–	–
2	Enroulements à courant alternatif						
2a)	À refroidissement par un gaz	–	} –	120 ^a	–	–	145 ^a
2b)	À refroidissement par un liquide ou par évaporation	–			–	–	
3	Enroulements des turbomachines						
3a)	Refroidis par un gaz sortant du rotor par le nombre suivant de zones de sortie ^b						
	1 et 2	–	100	–	–	115	–
	3 et 4	–	105	–	–	120	–
	5 et 6	–	110	–	–	125	–
	7 à 14	–	115	–	–	130	–
	plus de 14	–	120	–	–	135	–
3b)	À refroidissement par un liquide ou par évaporation	L'observation des températures maximales du fluide de refroidissement spécifiées au point 1b) assure que la température aux points chauds de l'enroulement n'est pas excessive.					
4	Enroulements à courant continu des machines à courant alternatif et à courant continu, autres que ceux du point 3						
4a)	À refroidissement par un gaz	–	130	–	–	150	–
4b)	À refroidissement par un liquide ou par évaporation	L'observation des températures maximales du fluide de refroidissement spécifiées au point 1b) assure que la température aux points chauds de l'enroulement n'est pas excessive.					
^a Aucune correction dans le cas des enroulements à courant alternatif à haute tension n'est applicable à ces éléments (voir le Tableau 14, point 2).							
^b La ventilation du rotor est classée par le nombre de zones de sorties radiales sur toute la longueur du rotor. Les zones spéciales de sortie du fluide de refroidissement dans les développantes sont comptées à raison d'une sortie à chaque extrémité. La zone de sortie commune de deux courants dirigés axialement en sens inverse doit être comptée comme deux zones.							

Tableau 14 – Corrections aux limites de température sur le site de fonctionnement pour les enroulements à refroidissement direct par air ou hydrogène pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas celles de référence

Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées		Corrections aux limites de température du Tableau 13
1	Température θ_c du fluide de refroidissement de référence	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Réduites de la différence entre 40 °C et θ_c . Cependant, par accord, une diminution inférieure peut être effectuée, sous réserve que si $\theta_c < 10\text{ °C}$, la diminution soit au moins égale à la différence entre 10 °C et θ_c .
		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Pas de correction
		$\theta_c < 0\text{ °C}$ ou $\theta_c > 60\text{ °C}$	Par accord
2	Tension assignée de l'enroulement statorique (U_N)	$U_N > 11\text{ kV}$	Pas de correction Le débit de chaleur passe principalement vers le fluide de refroidissement à l'intérieur des conducteurs et non à travers l'isolation principale de l'enroulement.

Tableau 15 – Limites corrigées de température sur le site d'essai θ_T pour les enroulements à refroidissement direct par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai

Point	Conditions d'essai		Limites corrigées de température sur le site d'essai θ_T
1	Différence de températures du fluide de refroidissement de référence au site d'essai (θ_{cT}) et au site de fonctionnement (θ_c)	Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30\text{ K}$	$\theta_T = \theta$
		Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30\text{ K}$	Par accord
2	Différence des altitudes au site d'essai (H_T) et au site de fonctionnement (H)	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $H_T \leq 1\ 000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 - \frac{H - 1000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H \leq 1\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - 1000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - H}{10\ 000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H > 4\ 000\text{ m}$ ou $H_T > 4\ 000\text{ m}$	Par accord
NOTE θ est donné dans le Tableau 13 et est corrigé, le cas échéant, conformément au Tableau 14.			

9 Autres caractéristiques de fonctionnement et essais

9.1 Essais individuels de série

Les essais individuels de série sont toujours des essais en usine. Ils doivent être réalisés sur toutes les machines assemblées dans l'installation du constructeur. Il n'est pas nécessaire que les machines soient entièrement assemblées. Il peut y manquer les composants qui ne sont pas significatifs pour l'essai. Il n'est pas nécessaire, dans le cadre des essais individuels de série, que les machines soient accouplées, sauf pour l'essai à vide des machines synchrones.

Le programme minimal d'essais est énuméré dans le Tableau 16 et applicable pour les machines de puissances (utiles) assignées ≤ 20 MW (MVA) qui sont assemblées et soumises à l'essai en usine. Des essais additionnels peuvent être réalisés particulièrement sur les machines dont la puissance assignée est supérieure à 200 kW (kVA). Le terme "machine synchrone" inclut les machines à aimants permanents sans balais.

Pour les machines à courant continu, selon leur taille ou leur conception, un essai de commutation en charge peut être effectué au titre d'essai individuel de série.

Tableau 16 – Essais individuels de série minimaux pour les machines assemblées et soumises à l'essai dans l'installation du constructeur

Point	Essai	Machines à induction (y compris les machines asynchrones synchronisées) ^a	Machines synchrones excitées électriquement	Machines à réluctance synchrone et machines synchrones excitées par PM	Machines à courant continu avec excitation séparée ou shunt
1	Résistance des enroulements (froid)	Oui	Oui	Oui	Oui
2	Pertes et courant à vide ^d	Oui	–	Oui	–
3a	Pertes à vide avec un facteur de puissance unitaire ^c	–	Oui ^c	–	–
3b	Courant d'excitation à vide à la tension assignée par un essai en circuit ouvert ^c	–	Oui ^c	–	–
4	Courant d'excitation à la vitesse assignée et à la tension de l'induit assignée	–	–	–	Oui
5	Tension induite au secondaire en circuit ouvert à l'arrêt (rotor bobiné) ^b	Oui	–	–	–
6	Sens de rotation (moteurs) ou séquence des phases (génératrices)	Oui	Oui	Oui	Oui
7	Essai de tension de tenue selon 9.2	Oui	Oui	Oui	Oui

^a IEC 60050-411:1996, 411-33-04.
^b Pour des raisons de sécurité, cet essai peut être réalisé à tension réduite.
^c Un seul des essais 3a et 3b est exigé.
^d Aucune stabilisation de la température n'est exigée pour le mesurage des pertes à vide.

9.2 Essais de tension de tenue

Une tension d'essai telle que définie ci-après doit être appliquée entre les enroulements soumis à l'essai et la carcasse de la machine à laquelle sont reliés le noyau et les enroulements non soumis à l'essai. L'essai ne doit être effectué que sur une machine neuve et terminée, dont toutes les parties sont en place dans des conditions équivalentes aux conditions normales de fonctionnement. Il doit être effectué dans l'atelier du constructeur ou après montage sur site. Un essai de tension de tenue doit être effectué après l'achèvement de la séquence complète d'essais.

Dans le cas d'un matériel construit en vue du stockage, les essais de tension de tenue réalisés dans le cadre de la réception à l'issue de la construction restent valables et ne doivent pas être répétés, sous réserve que la tension d'essai soit supérieure ou égale à la tension d'essai fournie dans le Tableau 17 en fonction de la tension assignée indiquée sur la plaque signalétique.

NOTE 1 Pour les machines à haute tension, des méthodes supplémentaires décrites dans les parties de l'IEC 60034-27 peuvent être utilisées pour prouver l'aptitude du système d'isolation de l'enroulement de la machine.

Sauf exception précisée ci-dessous, la fréquence de la tension d'essai doit être la fréquence industrielle à l'installation du constructeur et la forme d'onde de la tension doit être aussi près que possible d'une forme d'onde sinusoïdale. La valeur finale de la tension d'essai doit être conforme au Tableau 17. Toutefois, pour les machines de tension assignée supérieure ou égale à 6 kV, lorsqu'un matériel d'essai à fréquence industrielle n'est pas disponible et après accord, l'essai peut être effectué en courant continu à une tension égale à 1,7 fois la valeur efficace donnée dans le Tableau 17.

NOTE 2 Il est admis que, lors d'un essai en courant continu, la distribution de potentiel de surface le long de l'isolation des développantes et les mécanismes de vieillissement sont différents de ceux en courant alternatif.

Dans le cas de machines polyphasées de tension assignée supérieure à 1 kV, dont les deux extrémités de chaque phase sont individuellement accessibles, la tension d'essai doit être appliquée entre chaque phase et la carcasse, à laquelle sont reliés le noyau et les autres phases et enroulements non soumis à l'essai. L'essai doit être commencé avec une tension ne dépassant pas la moitié de la pleine tension d'essai. La tension doit ensuite être augmentée jusqu'à la pleine tension d'essai, d'une manière progressive ou par degrés ne dépassant pas 5 % de la pleine valeur, la durée admise de l'augmentation de la tension depuis la moitié jusqu'à la pleine valeur n'étant pas inférieure à 10 s. La pleine tension d'essai doit être alors maintenue pendant 1 min conformément à la valeur spécifiée dans le Tableau 17. Le matériel d'essai de tension doit être capable de maintenir la tension d'essai à ± 5 % de la valeur spécifiée pendant tout l'essai. Il ne doit pas y avoir de défaut (voir l'IEC 60060-1) pendant cette séquence.

Lors des essais individuels de série des machines construites en série de puissance inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA) et dont la tension assignée est $U_N \leq 1$ kV, l'essai de 1 min peut être remplacé par un essai de 1 s à 120 % de la tension d'essai spécifiée dans le Tableau 17. Si ceci est appliqué à de très petites machines dont la puissance assignée est inférieure ou égale à 1 kW (ou kVA) auxquelles une IVIC C ou D a été attribuée (Point 2b dans le Tableau 17), 120 % de la tension conformément au point 2b du Tableau 17 (c'est-à-dire en incluant le facteur d'essai de tension du Tableau 18) pendant 1 s peut se révéler trop important. Dans ce cas, 100 % de la tension d'essai spécifiée dans le Tableau 17 peut être utilisé pour l'essai de 1 s.

L'essai à haute tension effectué à pleine tension sur les enroulements lors de la réception ne doit pas être répété. Si, toutefois, un second essai est effectué sur demande de l'acheteur, après un séchage supplémentaire si cela est jugé nécessaire, la tension d'essai doit être égale à 80 % de la tension spécifiée dans le Tableau 17.

Pour déterminer la tension d'essai du Tableau 17 pour les moteurs à courant continu alimentés par convertisseurs statiques de puissance, la tension continue du moteur ou la valeur efficace de la tension alternative assignée entre phases aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance doit être utilisée, la valeur la plus élevée étant retenue.

Il convient de ne pas prendre en considération la variation de la tension selon 7.3 pour déterminer la tension d'essai.

Pour les machines à vitesse variable fonctionnant sur courant alternatif soumises aux tensions de choc pendant le fonctionnement, auxquelles une classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) a été attribuée conformément à l'IEC 60034-18-41 ou l'IEC 60034-18-42, la tension d'essai doit être choisie en fonction de l'IVIC de son système d'isolation, tel que cela est défini respectivement dans l'IEC 60034-18-41 ou dans l'IEC 60034-18-42 (voir le point 2b du Tableau 17).

Les enroulements entièrement rebobinés doivent être soumis à l'essai à la pleine valeur prévue pour les machines neuves.

Si un utilisateur et un réparateur sont convenus d'effectuer des essais de tension de tenue dans des cas de rebobinage partiel des enroulements ou de révision d'une machine, il est recommandé de procéder comme suit:

- a) les enroulements partiellement rebobinés sont soumis à l'essai à 75 % de la tension d'essai prévue pour une machine neuve. Avant l'essai, la partie ancienne de l'enroulement doit être soigneusement nettoyée et séchée;
- b) les machines révisées sont soumises, après nettoyage et séchage, à un essai à une tension égale à 1,5 fois la tension assignée, avec un minimum de 1 000 V si la tension assignée est supérieure ou égale à 100 V et un minimum de 500 V si la tension assignée est inférieure à 100 V.

Tableau 17 – Essais de tension de tenue

Point	Machine ou élément de la machine	Tension d'essai ^e (valeur efficace)
1	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance (utile) assignée inférieure à 1 kW (ou kVA) et de tension assignée inférieure à 100 V à l'exception de ceux des points 4 à 8	500 V + deux fois la tension assignée
2	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance (utile) assignée inférieure à 10 000 kW (ou kVA) à l'exception de ceux des points 1 et 4 à 8 ^b	
2a)	pour l'alimentation sinusoïdale ou l'alimentation à convertisseur de fréquence, à l'exception de celles du point 2b	1 000 V + deux fois la tension assignée avec un minimum de 1 500 V ^a
2b)	avec attribution d'une IVIC conformément à l'IEC 60034-18-41 ou à l'IEC 60034-18-42, c'est-à-dire soumises à des tensions de choc répétitives, telles que celles générées par des convertisseurs de source de courant à modulation de largeur d'impulsion (MLI) ^f	1 000 V + deux fois la tension assignée multipliées par le facteur de tension d'essai (TVF) conformément au Tableau 18, c'est-à-dire $1\ 000\ V + (2 \times U_N \times TVF)$
3	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance (utile) assignée supérieure ou égale à 10 000 kW (ou kVA) à l'exception de ceux des points 4 à 8 ^b Tension assignée ^a : - inférieure ou égale à 24 000 V - supérieure à 24 000 V	1 000 V + deux fois la tension assignée Soumis à accord
4	Enroulements à excitation séparée des machines à courant continu	1 000 V + deux fois la tension assignée maximale d'excitation avec un minimum de 1 500 V
5	Enroulements des génératrices synchrones, des moteurs synchrones et des compensateurs synchrones	
5a)	Tension de service assignée: - inférieure ou égale à 500 V, - supérieure à 500 V.	Dix fois la tension de service assignée avec un minimum de 1 500 V 4 000 V + deux fois la tension de service assignée
5b)	Si la machine est destinée à démarrer avec l'enroulement court-circuité ou fermé sur une résistance de valeur inférieure à dix fois la résistance de l'enroulement	Dix fois la tension de service assignée avec un minimum de 1 500 V et un maximum de 3 500 V
5c)	Si la machine est destinée à démarrer soit avec l'enroulement fermé sur une résistance de valeur supérieure ou égale à dix fois la résistance de l'enroulement, soit avec les enroulements en circuit ouvert avec ou sans diviseur de champ	1 000 V + deux fois la valeur maximale de la tension efficace qui peut se produire, dans les conditions de démarrage spécifiées, entre les bornes de l'enroulement ou, dans le cas d'un enroulement sectionné, entre les bornes de toute section, avec un minimum de 1 500 V ^c

Point	Machine ou élément de la machine	Tension d'essai ^e (valeur efficace)
6	Enroulements secondaires (habituellement rotors) des machines à induction ou des moteurs à induction synchrones non court-circuités en permanence (destinés par exemple à démarrer par rhéostats)	
6a)	Pour moteurs non réversibles ou pour moteurs réversibles à partir de l'arrêt seulement	1 000 V + deux fois la tension en circuit ouvert à l'arrêt, mesurée entre les bagues ou les bornes secondaires avec la tension assignée appliquée aux enroulements primaires
6b)	Pour les moteurs destinés à être inversés ou freinés en inversant l'alimentation primaire lorsque le moteur est en fonctionnement	1 000 V + quatre fois la tension secondaire en circuit ouvert à l'arrêt comme cela est défini au point 6a)
7	Excitatrices (sauf exceptions ci-dessous) Exception 1: excitatrices des moteurs synchrones (y compris les moteurs à induction synchrones) lorsqu'elles sont mises à la terre ou déconnectées des enroulements pendant le démarrage Exception 2: enroulements à excitation séparée des excitatrices (voir le point 4)	Comme les enroulements auxquels elles sont connectées 1 000 V + deux fois la tension assignée de l'excitatrice avec un minimum de 1 500 V
8	Ensemble de machines et d'appareils électriquement reliés	Il convient d'éviter, si possible, la répétition des essais des points 1 à 7 ci-dessus, mais si l'essai est réalisé sur un ensemble de machines et d'appareils dont chacun a déjà passé avec succès un essai de tension de tenue, la tension d'essai appliquée à un tel ensemble connecté électriquement doit être 80 % de la tension la plus basse applicable à tout élément individuel de l'ensemble ^d .
9	Les dispositifs qui sont en contact physique avec les enroulements, par exemple, les indicateurs de température, doivent être soumis à l'essai par rapport à la carcasse de la machine. Pendant l'essai de tension de tenue de la machine, tous les dispositifs en contact physique avec l'enroulement doivent être reliés à la carcasse de la machine	1 500 V
10	Dans le cas de dispositifs utilisés dans des circuits à tension extra basse protection séparée, qui ne sont pas utilisés dans les atmosphères explosives, il est suffisant de les relier à la carcasse lors de la réalisation des essais, conformément aux points ci-dessus.	aucun essai n'est exigé
<p>^a Dans le cas d'enroulements biphasés ayant une borne commune, la tension dans la formule doit être la plus haute tension en valeur efficace qui apparaît entre deux bornes quelconques pendant le fonctionnement.</p> <p>^b Il convient que l'essai de tenue sur des machines à isolation graduée fasse l'objet d'un accord.</p> <p>^c La tension qui s'établit aux bornes des enroulements ou de leurs sections, dans les conditions de démarrage spécifiées, peut être mesurée à toute tension d'alimentation réduite appropriée; la tension ainsi mesurée doit être augmentée dans le rapport de la tension d'alimentation de démarrage spécifiée à la tension d'alimentation de l'essai.</p> <p>^d Pour les enroulements d'une ou plusieurs machines qui sont reliés ensemble électriquement, la tension à considérer est la tension maximale qui s'établit par rapport à la terre.</p> <p>^e Le courant de fuite prélevé par la machine pendant l'essai de tension de tenue varie en fonction de la taille de la machine.</p> <p>^f Dans le cas où une IVIC a été attribuée, il est suffisant de soumettre à l'essai uniquement l'isolation "phase à terre".</p>		

Tableau 18 – Facteurs de tension d'essai pour les machines à classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) attribuée conformément à l'IEC 60034-18-41 et à l'IEC 60034-18-42

Enroulements entrant dans le domaine d'application de l'IEC 60034-18-41		Enroulements entrant dans le domaine d'application de l'IEC 60034-18-42	
IVIC phase à terre	Facteur de tension d'essai	IVIC phase à terre	Facteur de tension d'essai
A	1,0	1 à 4	1,0
B	1,0	5	1,2
C	1,3	6	1,3
D	1,7	7	1,5
S ^a	$\frac{Y}{2\sqrt{2}}$	S ^a	$\frac{Y}{2\sqrt{2}}$

^a Dans le cas d'une classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) spécifiée par le constructeur, S, Y est la valeur de fonctionnement de crête à crête maximale permise de la tension phase à terre en unités de la tension assignée U_N .

9.3 Surintensité occasionnelle

9.3.1 Généralités

La possibilité de surintensité des machines tournantes est donnée afin de coordonner ces machines à des dispositifs de commande et de protection. Des essais pour démontrer ces possibilités ne sont pas une exigence du présent document. L'effet d'échauffement dans les enroulements de la machine varie approximativement comme le produit du temps par le carré du courant. Un courant supérieur au courant assigné provoque une élévation de température. Sauf accord contraire, par hypothèse la machine n'est mise en fonctionnement à ces surintensités spécifiées que pendant quelques courtes périodes au cours de sa durée de vie. Si une machine à courant alternatif doit être utilisée à la fois comme génératrice et comme moteur, il convient que la surintensité soit l'objet d'un accord.

NOTE Pour les machines synchrones, l'aptitude à fonctionner avec composante inverse de courant occasionnelle en régime de défaut est indiquée en 7.2.3.

9.3.2 Génératrices

Les génératrices dont la puissance (utile) assignée est inférieure ou égale à 1 200 MVA doivent être capables de supporter un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant au moins 30 s.

Les génératrices dont la puissance (utile) assignée est supérieure à 1 200 MVA doivent être capables de supporter un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant une durée qui doit faire l'objet d'un accord, mais cette durée ne doit pas être inférieure à 15 s.

9.3.3 Moteurs (sauf les moteurs à collecteur et les moteurs à aimants permanents)

Les moteurs polyphasés dont la puissance (utile) assignée est inférieure ou égale à 315 kW et dont la tension assignée est inférieure ou égale à 1 kV doivent être capables de supporter:

- un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant au moins 2 min.

NOTE Pour les moteurs polyphasés de puissance (utile) assignée supérieure à 315 kW et pour tous les moteurs monophasés, aucune surintensité occasionnelle n'est spécifiée.

9.3.4 Machines à collecteur

Une machine à collecteur doit être capable de supporter, pendant 60 s, 1,5 fois le courant assigné dans la combinaison appropriée des conditions suivantes:

a) vitesse:

- 1) moteur à courant continu: vitesse la plus élevée à plein régime;
- 2) génératrice à courant continu: vitesse assignée;
- 3) moteur à collecteur à courant alternatif: vitesse la plus élevée à plein champ;

b) tension de l'induit: celle correspondant à la vitesse spécifiée.

Il convient de porter attention aux limites du pouvoir de commutation. Les limites du pouvoir de commutation d'une machine à courant continu donnée sont définies dans l'IEC 60034-19.

9.4 Excès momentané de couple des moteurs

9.4.1 Moteurs à induction polyphasés et moteurs à courant continu

Les moteurs doivent, quels que soient leur service et leur réalisation, être capables de supporter, pendant 15 s, sans calage ni changement brusque de vitesse (sous une augmentation progressive de couple) un excès de 60 % au moins de la valeur assignée du couple. La tension et la fréquence (moteurs à induction) doivent être maintenues à leurs valeurs assignées.

Pour certains moteurs fabriqués conformément à l'IEC 60034-12, des couples plus importants sont nécessaires.

Pour les moteurs à courant continu, le couple en excès doit être exprimé en courant de surcharge.

Les moteurs pour service type S9 doivent être capables de supporter momentanément un excès de couple déterminé conformément au service spécifié.

Pour une détermination approchée des variations de température dues à l'évolution des pertes en fonction du courant, la constante de temps thermique équivalente, déterminée selon 8.8, peut être utilisée.

Les moteurs destinés à des applications particulières qui exigent un couple élevé (par exemple, pour les appareils de levage) doivent faire l'objet d'un accord.

Pour les moteurs à induction à cage spécialement conçus pour assurer au démarrage un courant inférieur à 4,5 fois le courant assigné, l'excès de couple peut être inférieur à 60 % de la valeur indiquée à l'alinéa 1, mais pas en dessous de 50 % de cette valeur, ou la valeur de l'excès de couple doit faire l'objet d'un accord.

Dans le cas des moteurs à induction de type spécial ayant des propriétés intrinsèques spéciales de démarrage, par exemple les moteurs destinés au fonctionnement à fréquence variable ou les moteurs à induction alimentés par convertisseurs statiques, la valeur de l'excès de couple doit faire l'objet d'un accord.

9.4.2 Moteurs synchrones polyphasés

Sauf accord contraire, un moteur synchrone polyphasé doit, quel que soit son service, être capable de supporter pendant 15 s, sans perte de synchronisme, l'excès de couple spécifié ci-dessous, l'excitation étant maintenue à la valeur qui correspond à la charge assignée. Dans le

cas d'une excitation à réglage automatique, les limites de couple doivent avoir les mêmes valeurs, le dispositif d'excitation fonctionnant dans des conditions normales:

- moteurs à induction synchrones (à rotor bobiné): excès de couple 35 %;
- moteurs synchrones (à rotor cylindrique): excès de couple 35 %;
- moteurs synchrones (à pôles saillants): excès de couple 50 %.

9.4.3 Autres moteurs

L'excès momentané de couple et de délai des moteurs monophasés, à collecteur et autres, doit faire l'objet d'un accord.

9.5 Creux de couple et couple à rotor bloqué des moteurs à induction à cage pour un démarrage direct en ligne

Sauf spécification contraire (par exemple, pour les machines conformes à l'IEC 60034-12), le creux de couple sous pleine tension des moteurs à induction à cage ne doit pas être inférieur à 0,3 fois le couple assigné. Le couple à rotor bloqué ne doit pas non plus être inférieur à 0,3 fois le couple assigné.

9.6 Vitesse de sécurité en fonctionnement des moteurs à induction à cage

Tous les moteurs triphasés à induction à cage à une seule vitesse ayant une désignation numérique de la carcasse inférieure ou égale à 315 et pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 1 000 V doivent être capables de fonctionnement continu sûr à des vitesses inférieures ou égales à la vitesse appropriée donnée dans le Tableau 19, sauf spécification contraire sur la plaque signalétique.

Tableau 19 – Vitesse maximale de fonctionnement en sécurité (min^{-1}) des moteurs triphasés à induction à cage, à une seule vitesse pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 1 000 V

Désignation numérique de la carcasse	2 pôles	4 pôles	6 pôles
≤ 100	5 200	3 600	2 400
112	5 200	3 600	2 400
132	4 500	2 700	2 400
160	4 500	2 700	2 400
180	4 500	2 700	2 400
200	4 500	2 300	1 800
225	3 600	2 300	1 800
250	3 600	2 300	1 800
280	3 600	2 300	1 800
315	3 600	2 300	1 800

NOTE Les valeurs indiquées ci-dessus peuvent devoir être réduites pour satisfaire aux exigences de la série IEC 60079.

En cas de fonctionnement à des vitesses supérieures à la vitesse assignée, par exemple en cas d'utilisation avec commande de vitesse réglable, les niveaux de bruit et de vibration augmentent. L'utilisateur peut exiger que le constructeur affine l'équilibrage du rotor du moteur pour un fonctionnement acceptable au-dessus de la vitesse assignée. La durée de vie des roulements peut être réduite. Il convient de porter attention à la périodicité du graissage et à la durée de vie en service de la graisse.

9.7 Survitesse

Les machines doivent être conçues de façon à supporter les vitesses spécifiées dans le Tableau 20.

Un essai de survitesse n'est pas normalement considéré comme nécessaire, mais il peut être effectué si cela a été spécifié et a fait l'objet d'un accord. (Pour les turboalternateurs, voir également l'IEC 60034-3). Un essai de survitesse doit être considéré comme satisfaisant si, par suite de cet essai, il n'est pas constaté de déformation permanente anormale ni d'autres signes de faiblesse pouvant empêcher la machine de fonctionner normalement et si les enroulements rotoriques satisfont aux essais diélectriques spécifiés. La durée de tout essai de survitesse doit être de 2 min.

En raison d'un affaissement des jantes de rotor en tôles, des pôles en tôles maintenus par des cales ou par des boulons, etc., une légère augmentation permanente du diamètre est naturelle et ne doit pas être considérée comme une déformation anormale indiquant que la machine ne se prête pas à un fonctionnement normal.

Pendant les essais de réception d'un alternateur synchrone entraîné par une turbine hydraulique, la machine doit tourner à la vitesse qu'elle peut atteindre avec la protection contre la survitesse en fonction, de façon à permettre de vérifier que l'équilibrage est satisfaisant jusqu'à cette vitesse.

Tableau 20 – Survitesses

Point	Type de machines	Survitesse
1	Machines à courant alternatif Toutes les machines autres que celles qui sont spécifiées ci-après:	1,2 fois la vitesse assignée maximale
1a)	Alternateurs entraînés par une turbine hydraulique et machines auxiliaires de tous types couplées directement (électriquement ou mécaniquement) à la machine principale	Sauf spécification contraire, vitesse d'emballement du groupe, mais au moins 1,2 fois la vitesse assignée maximale
1b)	Machines pouvant, dans certaines circonstances être entraînés par la charge	Vitesse d'emballement spécifiée du groupe, mais au moins 1,2 fois la vitesse assignée maximale
1c)	Moteurs série et moteurs universels	1,1 fois la vitesse à vide à la tension assignée. Pour les moteurs liés à la charge d'une manière telle qu'ils ne peuvent pas s'en dissocier accidentellement, l'expression "vitesse à vide" doit être interprétée comme étant "vitesse correspondant à la charge la plus faible possible"
1d)	Moteurs triphasés à induction à cage, à une seule vitesse selon 9.6	1,2 fois la vitesse maximale de fonctionnement en sécurité
2	Machines à courant continu	
2a)	Moteurs à excitation shunt ou séparée	1,2 fois la vitesse assignée maximale, ou 1,15 fois la vitesse à vide correspondante, la valeur la plus élevée étant retenue.
2b)	Moteurs à excitation composée ayant une plage de vitesses inférieures ou égales à 35 %	1,2 fois la vitesse assignée maximale ou 1,15 fois la vitesse à vide correspondante, la valeur la plus élevée étant retenue, sans toutefois dépasser 1,5 fois la vitesse assignée maximale
2c)	Moteurs à excitation composée ayant une plage de vitesses supérieures à 35 % et moteurs à excitation série	Le constructeur doit attribuer une vitesse maximale de fonctionnement en sécurité qui doit être marquée sur la plaque signalétique. La survitesse de ces moteurs doit être égale à 1,1 fois cette vitesse maximale de fonctionnement en sécurité. Ce marquage n'est pas exigé si la survitesse correspond à 1,1 fois la vitesse à vide à la tension assignée
2d)	Moteurs à excitation par aimant permanent	Survitesse comme cela est spécifié au point 2a) sauf si le moteur a aussi un enroulement en série; dans ce cas, il doit pouvoir supporter les survitesses spécifiées aux points 2b) et 2c), selon les cas
2e)	Génératrices	1,2 fois la vitesse assignée

9.8 Courant de court-circuit des machines synchrones

Sauf spécification contraire, la valeur de crête du courant de court-circuit des machines synchrones, comprenant les turbomachines non couvertes par l'IEC 60034-3, dans le cas de court-circuit sur toutes les phases en fonctionnement à la tension assignée, ne doit pas dépasser 15 fois la valeur de crête ou 21 fois la valeur efficace du courant assigné.

La vérification peut être effectuée par le calcul ou par un essai à une tension au moins égale à 0,5 fois la tension assignée.

9.9 Essai de tenue au court-circuit des machines synchrones

L'essai de court-circuit triphasé des machines synchrones doit être réalisé uniquement sur demande de l'acheteur. Dans ce cas, l'essai doit être effectué sur la machine en marche à vide avec une excitation correspondant, sauf accord contraire, à la tension assignée. L'essai ne doit pas être effectué avec une excitation supérieure à celle qui correspond à 1,05 fois la tension assignée à vide.

L'excitation pour l'essai ainsi déterminée peut être réduite selon accord afin de tenir compte de l'impédance du transformateur qui peut être interposé entre les machines et le réseau. Dans ce dernier cas, il peut également être convenu par accord que l'essai soit effectué sur le site de fonctionnement avec le dispositif de surexcitation en service. Le court-circuit doit être maintenu pendant 3 s.

L'essai est jugé satisfaisant si aucune déformation néfaste ne se produit et si les exigences de l'essai diélectrique par tension appliquée (voir le Tableau 17) sont satisfaites après l'essai de court-circuit. Pour les turbomachines triphasées, voir l'IEC 60034-3.

9.10 Essai de commutation pour machines à collecteur

Une machine à courant continu ou à courant alternatif comportant un collecteur doit être capable de fonctionner de la marche à vide à la marche en surintensité ou à la marche en excès de couple (spécifiée respectivement en 9.3 et en 9.4), sans dommage permanent à la surface du collecteur ou des balais et sans étincelles dangereuses, les balais restant calés dans la même position. Si possible, l'essai de commutation doit être effectué à chaud.

NOTE L'Annexe A de l'IEC 60276:2018 fournit des clarifications quant à l'évaluation de ces critères. L'IEC 60034-19:2014, 8.3.2 spécifie par ailleurs que "La commutation est évaluée par tout moyen que le constructeur considère comme fiable".

9.11 Distorsion harmonique totale (THD) pour machines synchrones

9.11.1 Généralités

Les exigences du présent paragraphe ne s'appliquent qu'aux machines synchrones de puissance (utile) assignée supérieure ou égale à 300 kW (ou kVA), destinées à être raccordées à des réseaux fonctionnant à des fréquences nominales de $16^{2/3}$ Hz à 100 Hz inclus en vue de réduire le plus possible les interférences causées par les machines.

9.11.2 Limites

Lorsqu'elle est soumise à l'essai en circuit ouvert à la vitesse et à la tension assignées, la distorsion harmonique totale (*THD - total harmonic distortion*) de la tension entre bornes de phase, mesurée conformément aux méthodes données en 9.11.3; ne doit pas dépasser 5 %.

NOTE La limitation de chaque harmonique n'est pas spécifiée individuellement, car il est considéré que les machines qui satisfont aux exigences indiquées ci-dessus fonctionnent de façon satisfaisante.

9.11.3 Essais

Des essais de type doivent être réalisés sur les machines à courant alternatif pour vérifier leur conformité à 9.11.2. La plage des fréquences de mesure doit couvrir tous les harmoniques à partir de la fréquence assignée jusqu'au 100^e harmonique. Il n'est pas nécessaire de mesurer les moteurs synchrones.

Soit la *THD* peut être mesurée directement à l'aide d'un appareil de mesure associé à un réseau spécialement établi à cet effet, soit chaque harmonique individuel doit être mesuré et la *THD* doit être calculée, à partir des valeurs mesurées, par la formule suivante:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^k u_n^2}$$

où

u_n est le rapport entre la tension aux bornes entre phases U_n de l'harmonique n de la machine sur la tension fondamentale aux bornes entre phases U_1 de la machine;

n est le rang de l'harmonique;

$k = 100$.

9.12 Essai de mise à la terre

Dans un essai de type d'une machine dont la tension assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu respectivement, un essai supplémentaire de mise à la terre doit être réalisé.

Les machines dont la tension assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu respectivement, et qui ont une borne de mise à la terre exigent un essai de mise à la terre afin d'assurer que les résistances internes sont suffisamment faibles. S'il n'est pas défini par une norme de produit différente, l'essai de type peut être réalisé en déterminant la chute de tension possible entre tout point de la machine susceptible d'entrer en contact avec des parties actives, et la borne de mise à la terre. L'essai est réputé réussi lorsque la valeur mesurée de la résistance $R_{PE,M}$ entre ces deux points ne dépasse pas

$$R_{PE,M} \leq 0,8 \cdot 30 \text{ V} / (K \cdot I_N) \text{ pour les circuits en courant alternatif,}$$

$$R_{PE,M} \leq 0,8 \cdot 60 \text{ V} / (K \cdot I_N) \text{ pour les circuits en courant continu,}$$

où

I_N est le courant assigné de la machine,

0,8 est un facteur de sécurité, et

K est l'un des facteurs représentés à la Figure 13.

Le facteur K est tiré de la taille de fusible type attribué aux moteurs pour un démarrage direct en ligne, avec un rapport entre courant de démarrage et courant assigné de 10 multiplié par 2. Cette approche est valable également pour les génératrices. Dans le cas des valeurs assignées de puissance supérieures à 1 000 kW, un facteur $K = 3,4$ s'applique.

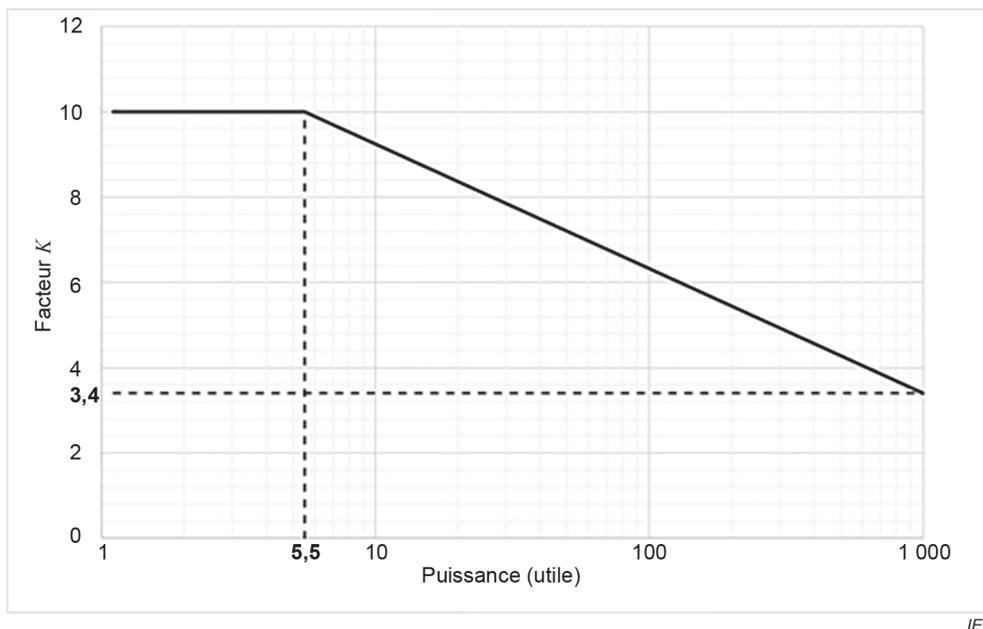


Figure 13 – Facteur K pour déterminer $R_{PE,M}$

Le courant utilisé pour la détermination de la résistance $R_{PE,M}$ doit être de 3 A au minimum.

NOTE Cette méthode est issue de l'essai de type de l'impédance de la liaison équipotentielle de protection décrit dans l'IEC 62477-1.

9.13 Mesurage de la résistance d'isolation et de l'indice de polarisation de l'isolation de l'enroulement

Pour le mesurage de la résistance d'isolation et de l'indice de polarisation d'une isolation de l'enroulement, voir l'IEC 60034-27-4.

9.14 Essai de la tension d'arbre

Un essai de la tension d'arbre ne doit pas être effectué dans le cas de roulements isolés (1 M Ω ou plus pour une alimentation sinusoïdale ou en courant continu) ou dans le cas où des aspects de sécurité sont concernés. La tension d'arbre de la fréquence de l'alimentation (principalement) (à ne pas confondre avec la tension d'arbre à haute fréquence, voir 3.37) doit être mesurée directement entre les deux extrémités de l'arbre d'une machine électrique qui fonctionne à sa tension et sa fréquence assignées, à vide et de préférence non couplée. Il n'est pas admis de déterminer la tension d'arbre en mesurant les tensions entre l'arbre et la terre sur les deux roulements, puis en soustrayant les valeurs, car ceci peut conduire à des résultats faux. La tension d'arbre doit être évaluée comme valeur efficace. Tant qu'aucune autre limite n'a fait l'objet d'un accord entre le constructeur et le client, il convient que la valeur efficace de la tension d'arbre, dans le cas de roulements à billes ou à rouleaux (ou dispositifs similaires), ne dépasse pas 350 mV.

10 Exigences relatives à l'information

10.1 Généralités

Chaque machine électrique doit être livrée avec une documentation appropriée, qui comprend au minimum les informations exigées (voir 10.4) et une plaque signalétique ou plusieurs plaques signalétiques (voir 10.3).

10.2 Documentation sur le produit

La documentation sur le produit doit être livrée par le constructeur y compris les fiches techniques et/ou un manuel d'utilisation. Cette documentation peut être fournie avec le moteur, physiquement ou sous forme numérique. Dans le cas de la production en série de machines normalisées, ces informations peuvent également être accessibles directement sur le site web du constructeur. Il convient que ce site soit aisément accessible. Le 10.4 fournit le contenu minimal de la documentation sur le produit.

10.3 Plaque signalétique

Les plaques doivent être constituées d'un matériau durable et être montées de façon sûre. Les inscriptions doivent être réalisées par des moyens persistants (par exemple, impression, gravure).

La ou les plaques signalétiques doivent de préférence être fixées sur la carcasse de la machine et être placées de façon à être facilement lisibles dans la position d'utilisation déterminée par le type de construction et les dispositions de montage de la machine. Si la machine électrique est enveloppée dans l'équipement ou y est incorporée de telle manière que sa plaque signalétique ne soit pas facilement lisible, le constructeur doit, sur demande, fournir une seconde plaque à fixer sur l'équipement.

La ou les plaques signalétiques doivent porter un marquage persistant avec les indications du 10.4, dans la mesure où elles s'appliquent. Il n'est pas nécessaire que les indications figurent toutes sur la même plaque. Les symboles littéraux des unités et grandeurs doivent être conformes à l'IEC 60027-1 et à l'IEC 60027-4.

De manière facultative, la plaque signalétique ou une autre partie de la machine (par exemple, l'intérieur de la boîte à bornes de la machine) peuvent porter un symbole électronique d'identification, par exemple un QR code, qui comprend un lien direct vers la documentation sur le produit sur le site web du constructeur.

NOTE Un QR code conforme à l'ISO/IEC 18004:2015.

Sauf pour une maintenance normale (lubrification, nettoyage, remplacement des roulements), si une machine est réparée ou renouvelée, une plaque supplémentaire doit être fournie pour indiquer le nom du réparateur, l'année de la réparation. En cas de modification, les changements qui affectent la plaque signalétique originale doivent être affichés sur la plaque supplémentaire également. Les informations complémentaires sur les modifications et leur influence sur les données techniques qui ne sont pas affichées sur la plaque signalétique peuvent être obtenues auprès de l'entreprise qui réalise les travaux.

10.4 Contenu des informations

10.4.1 Généralités

Les indications données de 10.4.2 à 10.4.5 doivent être fournies, le cas échéant, dans la documentation sur le produit ainsi que sur la ou les plaques signalétiques. Si le constructeur donne plus d'informations dans la documentation sur le produit, il n'est pas nécessaire qu'elles soient marquées sur la ou les plaques signalétiques. Les points du 10.4.6 sont facultatifs, mais recommandés au moins pour les machines dont la puissance (utile) assignée est supérieure à 5 kW (ou 5 kVA).

Les indications sont numérotées a) à jj) pour en faciliter la référence, mais l'ordre dans lequel elles apparaissent dans la documentation sur le produit et sur la ou les plaques signalétiques n'est pas normalisé. Les indications peuvent être combinées de façon convenable.

10.4.2 Exigences minimales relatives à l'information

Les exigences minimales relatives à l'information pour les machines de toutes tailles de puissance (utile) assignée, y compris les machines à application spéciale et incorporées, sont:

- a) nom du constructeur ou marque;
- b) numéro de série du constructeur ou marque d'identification;

NOTE 1 Une marque d'identification unique peut être utilisée pour identifier chaque élément d'un groupe de machines qui sont de la même conception électrique et mécanique et sont produites en un lot unique utilisant la même technologie.

- c) code machine du constructeur;
- d) information permettant d'identifier l'année de fabrication;
- e) la ou les tensions assignées ou la plage de tensions assignées; deux valeurs assignées différentes doivent être indiquées par "/" (par exemple, 400 V/230 V) tandis qu'une plage de valeurs assignées doit être indiquée par "-" (par exemple, 380 V-440 V);

NOTE 2 Dans l'ensemble de ces cas, les variations de tension (et de fréquence) conformes au 7.4 sont valables et ne sont pas indiquées séparément.

- f) le ou les courants assignés ou la plage de courants assignés;
- g) les instructions pour le raccordement en accord avec l'IEC 60034-8 au moyen d'un diagramme ou de texte indiqué à proximité des bornes;
- h) la ou les puissances (utiles) assignées ou la plage de puissances (utiles) et la ou les classes de caractéristiques assignées de la machine, si celle-ci est conçue pour d'autres caractéristiques que celles pour service continu S1, voir 5.2;
- i) la ou les vitesses assignées ou la plage de vitesses assignées et la survitesse admissible si différente de celle spécifiée en 9.7 ou la vitesse maximale de fonctionnement en sécurité si celle-ci est inférieure à celle mentionnée en 9.6 ou dans le cas d'une machine fonctionnant exclusivement sur convertisseur, données dans l'unité min^{-1} ou 1/min. Dans le cas d'une machine fonctionnant exclusivement sur convertisseur, la plage de vitesses peut également être donnée en unité ou en pourcentage de la vitesse assignée;
- j) pour les moteurs couverts par l'IEC 60034-30-1 et -2, la classe de rendement (code IE) et pour les moteurs couverts par l'IEC 60034-30-1 le rendement assigné également;
- k) lorsque cela est spécifié, la masse totale approchée de la machine, si elle est supérieure à 30 kg;
- l) le degré de protection procuré par la conception globale de la machine électrique tournante (Code IP) conformément à l'IEC 60034-5;
- m) la classe thermique et la limite de température ou d'échauffement (quand elle est inférieure à celle de la classe thermique) conforme à l'IEC 60085 et, si cela est nécessaire, méthode de mesure, suivie dans le cas d'une machine à hydrorefrigérant de "P" ou "S", selon que l'échauffement est mesuré par rapport au fluide de refroidissement respectivement primaire ou secondaire (voir 8.2). Cette information, écrite avec une barre oblique, doit être donnée à la fois pour le stator et pour le rotor si leurs classes diffèrent;
- n) pour les moteurs couverts par l'IEC 60034-12, la ou les lettres spécifiées à l'Article 5 de l'IEC 60034-12: 2016 indiquant les exigences relatives au démarrage lorsqu'ils ne relèvent pas de la conception N;
- o) pour les machines qui conviennent pour un fonctionnement dans un seul sens de rotation, le sens de rotation, indiqué soit par d (dans le sens des aiguilles d'une montre) soit par g (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) sur la plaque signalétique ou par une flèche. Il n'est pas nécessaire de placer cette flèche sur la plaque signalétique, mais elle doit être distinguée aisément;
- p) l'altitude pour laquelle la machine est conçue si elle est supérieure à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer;

10.4.3 Toutes les machines à courant alternatif

10.4.3.1

- q) pour les machines à courant alternatif, le nombre de phases;
- r) pour les machines à courant alternatif, la fréquence assignée et dans le cas des machines fonctionnant exclusivement sur convertisseur, le terme "fonctionnant sur convertisseur". Pour les moteurs universels, la fréquence assignée doit être suivie du symbole approprié, par exemple ~ 50 Hz / === (IEC 60417-5031) ou 50 Hz en courant alternatif/courant continu.

10.4.3.2 Toutes les machines synchrones

- s) dans le cas des machines excitées par aimants permanents, la tension en circuit ouvert à la vitesse assignée;
- t) dans le cas d'une excitation électrique, la tension de service assignée et le courant de champ assigné;
- u) dans le cas d'une excitation électrique, le facteur de puissance assigné;

10.4.3.3 Toutes les machines à induction à rotor bobiné

- v) la tension entre bagues à circuit ouvert et courant rotorique assignés;

10.4.4 Toutes les machines à courant continu

- w) pour les machines à courant continu à excitation séparée ou à excitation shunt, la tension de service assignée et le courant d'excitation assigné;
- x) le facteur de forme assigné et tension alternative assignée aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance, si celle-ci est supérieure à la tension directe assignée du circuit d'induit du moteur;

10.4.5 Machines de puissance (utile) assignée supérieure à 5 kW (ou 5 kVA)

- y) la référence numérique de la ou des normes de caractéristiques assignées et de caractéristiques de fonctionnement qui sont applicables (IEC 60034-x et/ou norme(s) nationale(s) équivalente(s)). Si l'IEC 60034 est indiquée, ceci implique la conformité à toutes les autres normes applicables de la série IEC 60034. Si l'IEC 60034-1 est indiquée, ceci implique la conformité à la norme proprement dite, pas aux références;
- z) la température maximale de l'air ambiant si différente de 40 °C;
- aa) la température minimale de l'air ambiant, si différente de celle spécifiée en 6.4;
- bb) la température maximale de l'eau de refroidissement, si différente de 25 °C;
- cc) pour les machines refroidies par hydrogène, pression de l'hydrogène à la puissance (utile) assignée;

10.4.6 Informations facultatives

- dd) le mode de refroidissement (code IC) conformément à l'IEC 60034-6 s'il n'est pas IC411;
- ee) pour les machines à courant alternatif, le ou les facteurs de puissance assignés;
- ff) pour les machines à induction, la puissance apparente rotor bloqué;
- gg) les types des roulements, le type de graisse ou d'huile et l'intervalle de lubrification dans le cas des roulements à rouleaux ou à billes;
- hh) pour les moteurs à service type S9, l'aptitude au couple excédentaire momentanée à la vitesse assignée en pourcentage du couple assigné, dans le cas où la valeur dépasse 160 %;
- ii) pour les machines à IVIC attribuée, le niveau d'IVIC conforme à l'IEC 60034-18-41 ou à l'IEC 60034-18-42 respectivement;
- jj) pour les machines aptes à fonctionner sur convertisseur (voir 3.35), le terme "apte à fonctionner sur convertisseur";

11 Exigences diverses

11.1 Mise à la terre des machines

Les machines doivent comporter une borne de mise à la terre ou autre dispositif permettant le raccordement à un conducteur de protection ou un conducteur de terre.

Le symbole  (IEC 60417-5019) ou la légende doit identifier ce dispositif. Cependant, les machines ne doivent ni être mises à la terre ni comporter de borne de mise à la terre si:

- a) elles comportent une isolation supplémentaire; ou
- b) elles sont destinées à être installées dans un ensemble qui comporte une isolation supplémentaire; ou
- c) elles ont des tensions assignées inférieures ou égales à 50 V en courant alternatif ou 120 V en courant continu et sont prévues pour fonctionner sur des circuits TBTS (très basse tension de sécurité).

NOTE 1 Le terme TBTS est défini dans l'IEC 60884-2-4.

Dans le cas des machines de tension assignée supérieure à 50 V en courant alternatif ou 120 V en courant continu, mais ne dépassant pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu, la borne du conducteur de terre doit être située à proximité des bornes de raccordement des conducteurs de phase, à l'intérieur de la boîte à bornes éventuelle. Les machines de puissance (utile) assignée supérieure à 100 kW (ou kVA) doivent également comporter une borne de terre montée sur la carcasse.

Les machines de tension assignée supérieure à 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu doivent avoir une borne de terre sur la carcasse, par exemple une languette de fer et, en outre, le cas échéant, un point de connexion à l'intérieur de la boîte à bornes pour raccorder une gaine conductrice de câble.

La borne de terre doit être conçue de manière à assurer une bonne liaison avec le conducteur de terre, sans détérioration du conducteur ou de la borne. Les parties conductrices accessibles qui ne font pas partie du circuit d'utilisation doivent être raccordées par une liaison électrique de bonne qualité les unes aux autres et à la borne de terre s'il existe un risque qu'elles entrent en contact avec des parties actives. Si tous les roulements et l'enroulement rotorique d'une machine sont isolés, l'arbre doit être relié électriquement à la borne de terre, à moins d'un accord entre le constructeur et l'acheteur sur d'autres moyens de protection.

Si la boîte à bornes est équipée d'une borne de terre, il faut prendre pour hypothèse que le conducteur de terre est constitué du même métal que les conducteurs de phase.

Si une borne de terre est placée sur la carcasse, le conducteur de terre peut, sur accord, être constitué d'un autre métal (en acier par exemple). Dans ce cas, la conception de la borne doit être étudiée en prenant dûment en considération la conductivité de l'âme du conducteur.

La borne de terre doit être conçue pour admettre un conducteur de terre de section d'âme selon le Tableau 21. Si un câble plus gros est utilisé, il est recommandé que sa section se rapproche autant que possible d'une des autres valeurs énumérées dans le Tableau 21.

Pour d'autres sections de conducteurs de phase, le conducteur de terre ou de protection doit avoir une section au moins équivalente à:

- celle du conducteur de phase pour des sections inférieures à 25 mm²;
- 25 mm² pour des sections comprises entre 25 mm² et 50 mm²;
- 50 % de celle du conducteur de phase pour des sections supérieures à 50 mm².

Pour les génératrices ≥ 20 MVA, il convient que la section du conducteur de terre à l'extérieur de la machine soit calculée par l'intégrateur de système et la section de la barre omnibus de point neutre par le constructeur afin de supporter en toute sécurité le courant de court-circuit en défaut double à la terre pendant la durée nécessaire jusqu'à ce que la machine ait été déconnectée par le système de protection et soit mise hors tension. La borne de terre doit être identifiée conformément à l'IEC 60445.

Dans la documentation de chaque machine dont la tension assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu, respectivement, il doit être clairement précisé qu'un essai de mise à la terre doit être réalisé après l'installation de la machine, comme cela est exigé par l'IEC 60364 le cas échéant, ou comme cela est précisé dans les exigences spécifiques du client. La responsabilité de réalisation de cet essai n'incombe pas au constructeur de la machine, mais à l'utilisateur final ou à l'intégrateur de système.

NOTE 2 Pour les petites machines dont la taille de la carcasse est inférieure à 63 mm, une mise à la terre correcte peut être assurée par la bride seule.

Tableau 21 – Section des conducteurs de terre

Section du conducteur de phase mm ²	Section du conducteur de terre ou de protection mm ²
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

11.2 Clavette(s) de bout d'arbre

Quand un bout d'arbre d'une machine est fourni avec une ou plusieurs encoches de clavette, chaque encoche doit comporter une clavette entière de forme et de longueur normales.

12 Tolérances

12.1 Généralités

La tolérance correspond à l'écart maximal admis entre la valeur d'une grandeur obtenue par essai dans le Tableau 22 et la valeur déclarée sur la plaque signalétique ou dans le catalogue. Si des méthodes et des équipements d'essai conformes aux normes IEC sont utilisés, le résultat d'essai ne doit pas dépasser la valeur d'écart admise quel que soit le laboratoire ou l'équipement d'essai. La tolérance ne couvre pas l'incertitude d'une méthode d'essai, c'est-à-dire l'écart entre le résultat d'essai et la valeur réelle. Les tolérances de l'équipement d'essai lui-même sont comprises dans les tolérances spécifiées dans le Tableau 22.

NOTE 1 Dans le cas d'une production en série, la tolérance s'applique à tout échantillon choisi, c'est-à-dire qu'elle couvre les variations des propriétés des matériaux bruts et des méthodes de fabrication.

NOTE 2 Le Guide IEC 115:2021 donne des informations détaillées sur l'influence de l'incertitude de mesure.

12.2 Tolérances sur les valeurs des grandeurs

Sauf spécification contraire, les tolérances sur les valeurs déclarées doivent être celles spécifiées dans le Tableau 22.

Tableau 22 – Nomenclature des tolérances sur les valeurs des grandeurs

Point	Grandeur	Tolérance
1	Rendement η^c	-15 % de $(1 - \eta)$
2	Courant de champ assigné des machines synchrones	+15 % de la valeur
3	Facteur de puissance, $\cos \phi$, pour les machines à induction et les machines synchrones à aimants permanents fonctionnant directement en ligne	-1/6 $(1 - \cos \phi)$ Minimum de la valeur absolue 0,02 Maximum de la valeur absolue 0,07
4	Vitesse des moteurs à courant continu (à pleine charge et à la température de fonctionnement) ^a	
4a)	Moteurs à excitation shunt ou séparée	$1\,000 P_N/n_N < 0,67$ $\pm 15\%$ $0,67 \leq 1\,000 P_N/n_N < 2,5$ $\pm 10\%$ $2,5 \leq 1\,000 P_N/n_N < 10$ $\pm 7,5\%$ $10 \leq 1\,000 P_N/n_N$ $\pm 5\%$
4b)	Moteurs à excitation série	$1\,000 P_N/n_N < 0,67$ $\pm 20\%$ $0,67 \leq 1\,000 P_N/n_N < 2,5$ $\pm 15\%$ $2,5 \leq 1\,000 P_N/n_N < 10$ $\pm 10\%$ $10 \leq 1\,000 P_N/n_N$ $\pm 7,5\%$
4c)	Moteurs à excitation composée	Les tolérances sont les mêmes que celles du point 4b) sauf accord contraire
5	Variation de vitesse des moteurs shunt ou à excitation composée à courant continu (entre la charge nulle et la pleine charge)	$\pm 20\%$ de la variation garantie avec un minimum de $\pm 2\%$ de la vitesse assignée
6	Variation de tension des génératrices à courant continu, à excitation shunt ou séparée, en tout point de la caractéristique	$\pm 20\%$ de la variation garantie en ce point
7	Variation de tension des génératrices à excitation composée (au facteur de puissance assigné dans le cas du courant alternatif)	$\pm 20\%$ de la variation de tension garantie avec un minimum de $\pm 3\%$ de la tension assignée. (Cette tolérance s'applique à l'écart maximal, à une charge quelconque, entre la tension observée à cette charge et une droite tracée entre les points de la tension garantie à vide et en charge.)
8a)	Glissement des machines à induction (à pleine charge et à la température de fonctionnement) $P_N < 1\text{ kW}$ $P_N \geq 1\text{ kW}$	$\pm 30\%$ du glissement garanti $\pm 20\%$ du glissement garanti
8 b)	Vitesse des moteurs à courant alternatif à collecteur à caractéristiques shunt (à pleine charge et à la température de fonctionnement)	- sur la vitesse la plus élevée: -3 % de la vitesse de synchronisme - sur la vitesse la moins élevée: +3 % de la vitesse de synchronisme

Point	Grandeur	Tolérance
9	Courant à rotor bloqué des moteurs à induction à cage avec tout dispositif de démarrage spécifié	+20 % du courant; pour les moteurs couverts par l'IEC 60034-12, la limite spécifiée dans l'IEC 60034-12 pour la puissance apparente rotor bloqué ne doit pas être dépassée.
10	Couple à rotor bloqué des moteurs à induction à cage	+25 -15 % du couple garanti (+25 % peut être dépassé sur accord)
11	Creux de couple (couple d'accrochage) des moteurs à induction à cage	-15 % de la valeur
12	Couple maximal pendant le démarrage (couple de décrochage) des moteurs à induction	-10 % du couple garanti, sauf qu'après application de cette tolérance, le couple doit rester supérieur ou égal à 1,6 ou 1,5 fois le couple assigné (voir 9.4.1)
13	Courant à rotor bloqué des moteurs synchrones	+ 20 % de la valeur garantie
14	Couple à rotor bloqué des moteurs synchrones	+25 -15 % de la valeur garantie (+25 % peut être dépassé sur accord)
15	Couple de fonctionnement des moteurs synchrones	-10 % de la valeur garantie, sauf qu'après application de cette tolérance le couple doit rester supérieur ou égal à 1,35 ou 1,5 fois le couple assigné (voir 9.4.2)
16	Valeur de crête du courant de court-circuit d'un alternateur dans des conditions spécifiées	±30 % de la valeur ^b
17	Courant de court-circuit permanent d'un alternateur à excitation spécifiée	±15 % de la valeur
18	Moment d'inertie	±10 % de la valeur
19	Niveau moyen de pression acoustique pondérée A ou niveau de pression acoustique à vide et alimentation sinusoïdale	+ 3 dB(A)

NOTE Lorsqu'une tolérance est précisée seulement dans un sens, la valeur n'est pas limitée dans l'autre sens.

^a Les tolérances au point 4 dépendent du rapport de puissance (utile) assignée P_N en kW, à la vitesse assignée en min^{-1} .

^b Pour certaines simulations, les tolérances du point 16 sont trop importantes. Le constructeur et le client peuvent se mettre d'accord sur une exactitude plus importante.

^c La tolérance relative au rendement implique une tolérance sur les pertes totales de +15 % des pertes totales.

13 Compatibilité électromagnétique (CEM)

13.1 Généralités

Les exigences CEM spécifiées dans le présent article s'appliquent aux machines électriques tournantes de tension assignée ne dépassant pas 1 000 V (courant alternatif) ou 1 500 V (courant continu), qui sont destinées à fonctionner et à être utilisées dans un environnement résidentiel, commercial ou industriel.

Les composants électroniques qui sont montés à l'intérieur de la machine électrique tournante et qui sont essentiels à son fonctionnement (par exemple, les dispositifs d'excitation tournants) font partie intégrante de la machine.

Les exigences qui s'appliquent au système d'entraînement final et à ses composants, par exemple un équipement électronique de puissance et de commande, des machines couplées, des dispositifs électroniques de commande, etc., qu'ils soient montés à l'intérieur ou à l'extérieur de la machine, sont hors du domaine d'application de ce document.

Les exigences du présent article s'appliquent aux machines qui sont fournies directement à l'utilisateur final.

NOTE 1 Le but du présent article est de donner des conseils relatifs à un accord contractuel entre fournisseur et utilisateur final.

NOTE 2 Les machines destinées à être incorporées en tant que composants dans un système, dont l'enveloppe et les composants affectent les émissions CEM, sont couvertes par la norme CEM relative au produit final.

Dans les machines synchrones, les unités électroniques d'alimentation du stator de l'excitatrice faisant partie intégrante de la machine synchrone doivent être conformes aux exigences CEM du présent document.

NOTE 3 Sachant que l'alternateur dans une centrale électrique est souvent une machine de très grandes dimensions ayant certains champs magnétiques plus élevés à l'extérieur du logement, il est possible de définir des limites autour de l'alternateur dans la salle des machines, à l'intérieur desquelles les champs peuvent être plus élevés que ceux selon les exigences du CISPR (Comité international spécial des perturbations radioélectriques) et l'accès est interdit aux dispositifs électroniques et restreint aux personnes admises seulement.

Les transitoires (tels qu'au démarrage) ne sont pas couverts par le présent article.

13.2 Immunité

13.2.1 Machines n'incorporant pas de circuit électronique

Les machines sans circuits électroniques ne sont pas sensibles aux émissions électromagnétiques dans les conditions normales de fonctionnement et par conséquent, aucun essai d'immunité n'est exigé.

13.2.2 Machines incorporant des circuits électroniques

Les circuits électroniques qui sont incorporés dans les machines utilisent généralement des composants passifs (par exemple, diodes, résistances, varistances, condensateurs, suppresseurs de choc de tension, bobines d'inductance) et, donc, des essais d'immunité ne sont pas exigés.

13.3 Émission

Pour les machines destinées à être utilisées dans un environnement résidentiel, les émissions de rayonnement et de conductivité doivent être conformes aux exigences de la CISPR 11 pour le matériel de Classe B Groupe 1 (voir le Tableau B.1 de l'Annexe B).

Pour les machines destinées à être utilisées dans un environnement industriel, les émissions de rayonnement et de conductivité doivent être conformes aux exigences de la CISPR 11 pour le matériel de Classe A Groupe 1 avec une puissance absorbée assignée ≤ 20 kVA, quelle que soit leur réelle puissance absorbée assignée. Ces limites sont également inscrites dans le Tableau B.2.

13.4 Essais d'immunité

Les essais d'immunité ne sont pas exigés.

13.5 Mesurages des émissions

Pour les machines électriques tournantes d'usage général, des essais de type doivent être réalisés conformément à la CISPR 11 et aux parties correspondantes de la série de normes CISPR 16, selon le cas. Les essais de type sur les machines électriques tournantes destinées à l'assemblage en des produits finaux relevant du domaine d'application de la CISPR 14 doivent être réalisés en observant aussi le conseil donné dans la CISPR 14.

Pour les mesurages, les exigences spécifiées en 13.3 s'appliquent.

Les machines sans balais doivent satisfaire aux limites d'émission du 13.3, quelle que soit la condition de charge.

Si elles sont soumises à l'essai à vide, les machines avec balais doivent au moins satisfaire aux limites d'émission de la CISPR 11 pour le matériel de Classe A Groupe 1 avec une puissance absorbée assignée ≤ 20 kVA, quelle que soit leur réelle puissance absorbée assignée. Il est nécessaire de désigner ces machines comme des composants de Classe A.

Il n'est pas nécessaire que les machines à induction à cage fassent l'objet de mesurages.

Il n'est pas nécessaire que les émissions en des bornes destinées à la mise à la terre ou à la masse fassent l'objet de mesurages.

14 Exigences relatives aux applications

Les machines tournantes conformes au présent document doivent satisfaire aux exigences de l'IEC 60204-1 ou de l'IEC 60204-11 ou, dans le cas de machines tournantes incorporées dans des appareils électrodomestiques et analogues, de l'IEC 60335-1, selon le cas, sauf spécification contraire dans le présent document, et dans la mesure du possible, elles doivent également être conçues et construites selon la meilleure conception internationalement reconnue pour l'application de ces machines.

NOTE Il est de la responsabilité du constructeur ou de l'assembleur de l'équipement incorporant des machines électriques d'assurer que l'équipement complet est sûr.

Cela peut conduire à prendre en considération des normes de produits applicables telles que:

IEC 60079 (toutes les parties), et d'autres parties de l'IEC 60034 y compris:

l'IEC 60034-5, l'IEC 60034-6, l'IEC 60034-7, l'IEC 60034-8, l'IEC 60034-9, l'IEC 60034-11, l'IEC 60034-12 et l'IEC 60034-14.

De plus, il peut être nécessaire de prendre en considération la limitation de la température de surface et des caractéristiques similaires; voir, par exemple, l'IEC 60335-1:2020, Article 11: Échauffement.

Annexe A (informative)

Recommandations relatives à l'application du service type S10 et pour l'obtention de la valeur de l'espérance de vie thermique relative TL

A.1 La charge de la machine équivaut à tout moment au service type S1 correspondant à 4.2.1. Cependant, le cycle de charge peut comprendre d'autres charges que la charge assignée fondée sur le service type S1. Un cycle de charge comprenant quatre combinaisons charge/vitesse constantes discrètes est représenté à la Figure 10.

A.2 Selon la valeur et la durée des différentes charges dans un cycle, l'espérance de vie relative de la machine fondée sur le vieillissement thermique du système d'isolation peut se calculer avec la formule suivante:

$$\frac{1}{TL} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \times 2^{\frac{\Delta\Theta_i}{k}}$$

où

TL est l'espérance de vie thermique en valeur relative par rapport à l'espérance de vie thermique dans le cas du service type S1 à la puissance (utile) assignée;

$\Delta\Theta_i$ est la différence entre l'échauffement de l'enroulement au cours de chacune des différentes charges dans un cycle et l'échauffement fondé sur le service type S1 à la charge de référence;

Δt_i est la durée réduite (p.u.) d'une charge constante dans un cycle de charge;

k est l'augmentation d'échauffement en kelvins (K) qui conduit à une réduction de 50 % de l'espérance de vie thermique du système d'isolation;

n est le nombre des valeurs discrètes de charges.

A.3 La grandeur TL fait partie intégrante de l'identification précise de la classe de caractéristiques assignées.

A.4 La valeur de la grandeur TL ne peut être déterminée que lorsque, en plus de l'information sur le cycle de charge selon la Figure 10, la valeur k du système d'isolation est connue. Cette valeur k doit être déterminée par expérimentation conformément à l'IEC 60034-18 dans toute la plage de températures couvertes par le cycle de charge selon la Figure 10.

A.5 TL ne peut être précisée raisonnablement que sous la forme d'une valeur relative. Cette valeur peut être utilisée pour établir approximativement la variation réelle de l'espérance de vie thermique de la machine par rapport à celle du service type S1 à la puissance (utile) assignée, car il peut être pris pour hypothèse, en considérant les différentes charges existantes dans un cycle, que les autres effets sur l'espérance de vie de la machine (par exemple, contraintes diélectriques, influences du milieu) sont sensiblement les mêmes que ceux dans le cas du service type S1 à la puissance (utile) assignée.

A.6 Le constructeur de la machine est responsable de la compilation exacte des différents paramètres servant à déterminer la valeur de TL .

Annexe B
(informative)

Limites de compatibilité électromagnétique (CEM)

Tableau B.1 – Limites d'émission électromagnétique selon la CISPR 11, Classe B, Groupe 1

	Plage de fréquences	Limites
Émission de rayonnement	30 MHz à 230 MHz	30 dB(µV/m) quasi crête, mesurée à une distance de 10 m (Note)
	230 MHz à 1 000 MHz	37 dB(µV/m) quasi crête, mesurée à une distance de 10 m (Note)
Émission de conductivité aux bornes d'alimentation à courant alternatif ou à courant continu	0,15 MHz à 0,50 MHz Les limites décroissent linéairement en fonction du logarithme de la fréquence	66 dB(µV) à 56 dB(µV) quasi-crête 56 dB(µV) à 46 dB(µV) moyenne
	0,50 MHz à 5 MHz	56 dB(µV) quasi-crête 46 dB(µV) moyenne
	5 MHz à 30 MHz	60 dB(µV) quasi-crête 50 dB(µV) moyenne
NOTE Peut être mesurée à une distance de 3 m en augmentant les limites de 10 dB.		

Tableau B.2 – Limites d'émission électromagnétique selon la CISPR 11, Classe A, Groupe 1

	Plage de fréquences	Limites
Émission de rayonnement	30 MHz à 230 MHz	30 dB(µV/m) quasi crête, mesurée à une distance de 30 m (Note)
	230 MHz à 1 000 MHz	37 dB(µV/m) quasi crête, mesurée à une distance de 30 m (Note)
Émission de conductivité aux bornes d'alimentation à courant alternatif ou à courant continu	0,15 MHz à 0,50 MHz	79 dB(µV) quasi-crête 66 dB(µV) moyenne
	0,50 MHz à 30 MHz	73 dB(µV) quasi-crête 60 dB(µV) moyenne
NOTE Peut être mesurée à une distance de 10 m en augmentant les limites de 10 dB ou à une distance de 3 m avec une augmentation de 20 dB des limites.		

Bibliographie

IEC 60034-7, *Machines électriques tournantes – Partie 7: Classification des modes de construction, des dispositions de montage et position de la boîte à bornes (Code IM)*

IEC 60034-9, *Machines électriques tournantes – Partie 9: Limites de bruit*

IEC 60034-11, *Machines électriques tournantes – Partie 11: Protection thermique*

IEC 60034-14, *Machines électriques tournantes – Partie 14: Vibrations mécaniques de certaines machines de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm – Mesurage, évaluation et limites de l'intensité vibratoire*

IEC TS 60034-24:2009, *Machines électriques tournantes – Partie 24: Détection et diagnostic en ligne de défaillances potentielles des parties actives de machines électriques tournantes et de courants de palier – Guide d'application*

IEC 60034-27 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes – Partie 27: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements*

IEC 60079 (toutes les parties), *Atmosphères explosives*

IEC 60092 (toutes les parties), *Installations électriques à bord des navires*

IEC 60276:2018, *Balais de charbon, porte-balais, collecteurs et bagues – Définitions et nomenclature*

IEC 60349 (toutes les parties), *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers*

IEC 60884-2-4, *Prises de courant pour usages domestiques et analogues – Partie 2-4: Règles particulières pour prises de courant pour TBTS*

IEC 62477-1, *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance – Partie 1: Généralités*

IEC GUIDE 115:2021, *Application de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la conformité dans le secteur électrotechnique*

ISO/IEC 18004:2015, *Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR Code bar code symbology specification (disponible en anglais seulement)*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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