

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

IECNORM.COM: Click to visit the full PDF of IEC 60034-1:2004



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2004 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

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

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	9
4 Duty	13
4.1 Declaration of duty	13
4.2 Duty types	14
5 Rating	26
5.1 Assignment of rating.....	26
5.2 Classes of rating	26
5.3 Selection of a class of rating	27
5.4 Allocation of outputs to class of rating	28
5.5 Rated output	28
5.6 Rated voltage	28
5.7 Co-ordination of voltages and outputs	28
5.8 Machines with more than one rating	29
6 Site operating conditions	29
6.1 General	29
6.2 Altitude.....	29
6.3 Maximum ambient air temperature.....	29
6.4 Minimum ambient air temperature	29
6.5 Water coolant temperature	30
6.6 Storage and transport.....	30
6.7 Purity of hydrogen coolant.....	30
7 Electrical operating conditions	30
7.1 Electrical supply	30
7.2 Form and symmetry of voltages and currents	30
7.3 Voltage and frequency variations during operation	33
7.4 Three-phase a.c. machines operating on unearthed systems.....	35
7.5 Voltage (peak and gradient) withstand levels.....	36
8 Thermal performance and tests	36
8.1 Thermal class.....	36
8.2 Reference coolant	36
8.3 Conditions for thermal tests.....	37
8.4 Temperature rise of a part of a machine	38
8.5 Methods of measurement of temperature.....	38
8.6 Determination of winding temperature	39
8.7 Duration of thermal tests	42
8.8 Determination of the thermal equivalent time constant for machines of duty type S9.....	43
8.9 Measurement of bearing temperature	43
8.10 Limits of temperature and of temperature rise	43

9	Other performance and tests	52
9.1	Routine tests	52
9.2	Withstand voltage test	53
9.3	Occasional excess current	55
9.4	Momentary excess torque for motors	56
9.5	Pull-up torque	57
9.6	Safe operating speed of cage induction motors	57
9.7	Overspeed	58
9.8	Short-circuit current for synchronous machines	59
9.9	Short-circuit withstand test for synchronous machines	59
9.10	Commutation test for commutator machines	59
9.11	Total Harmonic Distortion (THD) for synchronous machines	59
10	Rating plates	60
10.1	General	60
10.2	Marking	60
11	Miscellaneous requirements	62
11.1	Protective earthing of machines	62
11.2	Shaft-end key(s)	63
12	Tolerances	64
12.1	General	64
13	Electromagnetic compatibility (EMC)	66
13.1	General	66
13.2	Immunity	66
13.3	Emission	66
13.4	Immunity tests	66
13.5	Emission tests	67
14	Safety	67
	Annex A (informative) Guidance for the application of duty type S10 and for establishing the value of relative thermal life expectancy TL	68
	Annex B (informative) Electromagnetic compatibility (EMC) limits	69
	Figure 1 – Continuous running duty – Duty type S1	14
	Figure 2 – Short-time duty – Duty type S2	15
	Figure 3 – Intermittent periodic duty – Duty type S3	16
	Figure 4 – Intermittent periodic duty with starting – Duty type S4	17
	Figure 5 – Intermittent periodic duty with electric braking – Duty type S5	18
	Figure 6 – Continuous operation periodic duty – Duty type S6	19
	Figure 7 – Continuous operation periodic duty with electric braking – Duty type S7	20
	Figure 8 – Continuous operation periodic duty with related load/speed changes – Duty type S8	22
	Figure 9 – Duty with non-periodic load and speed variations – Duty type S9	23
	Figure 10 – Duty with discrete constant loads – Duty type S10	25
	Figure 11 – Voltage and frequency limits for generators	35
	Figure 12 – Voltage and frequency limits for motors	35

Table 1 – Preferred voltage ratings	29
Table 2 – Unbalanced operating conditions for synchronous machines	32
Table 3 – Primary functions of machines	34
Table 4 – Reference coolant (see also Table 10)	36
Table 5 – Time interval	41
Table 6 – Measuring points	43
Table 7 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by air	45
Table 8 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by hydrogen	46
Table 9 – Adjustments to limits of temperature rise at the operating site of indirect cooled windings to take account of non-reference operating conditions and ratings	46
Table 10 – Assumed maximum ambient temperature	48
Table 11 – 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	49
Table 12 – Limits of temperature of directly cooled windings and their coolants	50
Table 13 – 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	51
Table 14 – Adjusted limits of temperature at the test site θ_T for windings directly cooled by air to take account of test site operating conditions	51
Table 15 – Minimum schedule of routine tests	52
Table 16 – Withstand voltage tests	54
Table 17 – Maximum safe operating speed (min^{-1}) of three-phase single-speed cage induction motors for voltages up to and including 1 000 V	57
Table 18 – Overspeeds	58
Table 19 – Cross-sectional areas of earthing conductors	63
Table 20 – Schedule of tolerances on values of quantities	64
Table B.1 – Electromagnetic emission limits for machines without brushes	69
Table B.2 – Electromagnetic emission limits for machines with brushes	69

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This eleventh edition cancels and replaces the tenth edition published in 1996, its amendments 1 (1997) and 2 (1999). It constitutes a technical revision.

The major changes introduced in this edition are:

Clause or subclause	Change
7.2.2	New requirements for a.c. generators to supply non-linear circuits
8	Major changes to Tables 4, 7 and 9
9.1	New requirements for routine tests
9.2	Table 16 Test voltage of auxiliaries
9.11	Total harmonic distortion for synchronous machines
11.1	Protective earthing of machines
12.1	Table 20 Tolerance on efficiency
13	Electromagnetic compatibility

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

FDIS	Report on voting
2/1278/FDIS	2/1294/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 1: Rating and performance

1 Scope

This part of IEC 60034 is applicable to all rotating electrical machines except those covered by other IEC standards, for example, IEC 60349.

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

NOTE If particular clauses of this standard 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 referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60027-1, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*

IEC 60027-4, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 4: Symbols for quantities to be used for rotating electrical machines*

IEC 60034-2, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*

IEC 60034-3, *Rotating electrical machines – Part 3: Specific requirements for turbine-type synchronous machines*

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

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

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

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

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

IEC 60034-17, *Rotating electrical machines – Part 17: Cage induction motors when fed from converters – Application guide*

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

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60050(411):1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 411: Rotating machines*

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

IEC 60072 (all parts), *Dimensions and output series for rotating electrical machines*

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

IEC 60204-11, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV*

IEC 60279, *Measurement of the winding resistance of an a.c. machine during operation at alternating voltage*

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

IEC 60445, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals and of terminations of certain designated conductors, including general rules for an alphanumeric system*

IEC 60971, *Semiconductor convertors. Identification code for convertor connections*

IEC 61293, *Marking of electrical equipment with ratings related to electrical supply – Safety requirements*

IEC 61986, *Rotating electrical machines – Equivalent loading and super-position techniques – Indirect testing to determine temperature rise*

IEC 62114, *Electrical insulation systems – Thermal classification*

CISPR 11, *Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment – Electromagnetic disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

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

CISPR 16, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*

3 Terms and definitions

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

For definitions concerning cooling and coolants, other than those in 3.17 to 3.22, reference should be made to IEC 60034-6.

For the purposes of this standard, the term 'agreement' means 'agreement between the manufacturer and purchaser'.

3.1

rated value

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

[IEV 411-51-23]

NOTE The rated voltage or voltage range is the rated voltage or voltage range between lines at the terminals.

3.2

rating

the set of rated values and operating conditions

[IEV 411-51-24]

3.3

rated output

the value of the output included in the rating

3.4

load

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

[IEV 411-51-01]

3.5

no-load (operation)

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

[IEV 411-51-02, modified]

3.6

full load

the load which causes a machine to operate at its rating

[IEV 411-51-10]

3.7

full load value

a quantity value for a machine operating at full load

[IEV 411-51-11]

NOTE This concept applies to power, torque, current, speed, etc.

3.8

de-energized and rest

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

[IEV 411-51-03]

3.9

duty

the 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

[IEV 411-51-06]

3.10

duty type

a 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

[IEV 411-51-13]

3.11

cyclic duration factor

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

[IEV 411-51-09]

3.12

locked-rotor torque

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

[IEV 411-48-06]

3.13

locked rotor current

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

[IEV 411-48-16]

3.14

pull-up torque (of an a.c. motor)

the smallest 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

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

NOTE 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 a.c. motor)**

the 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

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)**

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

3.17**cooling**

a 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

[IEV 411-44-01]

3.18**coolant**

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

[IEV 411-44-02]

3.19**primary coolant**

a 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

[IEV 411-44-03]

3.20**secondary coolant**

a 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

[IEV 411-44-04]

3.21**direct cooled (inner cooled) winding¹**

a 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

[IEV 411-44-08]

3.22**indirect cooled winding¹**

any winding other than a direct cooled winding

[IEV 411-44-09]

¹⁾ In all cases when 'indirect' or 'direct' is not stated, an indirect cooled winding is implied.

3.23

supplementary insulation

an 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

the 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

the state reached when the temperature rises of the several parts of the machine do not vary by more than a gradient of 2 K per hour

[IEV 411-51-08]

NOTE 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 reasonable intervals each have a gradient of less than 2 K per hour.

3.26

thermal equivalent time constant

the 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

a winding which is completely enclosed or sealed by moulded insulation

[IEV 411-39-06]

3.28

rated form factor of direct current supplied to a d.c. motor armature from a static power converter

the 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

the 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 For small values of current ripple, the ripple factor may be approximated by the following expression:

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

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

3.30**tolerance**

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

3.31**type test**

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

[IEV 411-53-01]

NOTE 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.

3.32**routine test**

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

[IEV 411-53-02]

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 motor (J_M) or the relative thermal life expectancy (TL), see Annex A. These values are provided by the manufacturer.

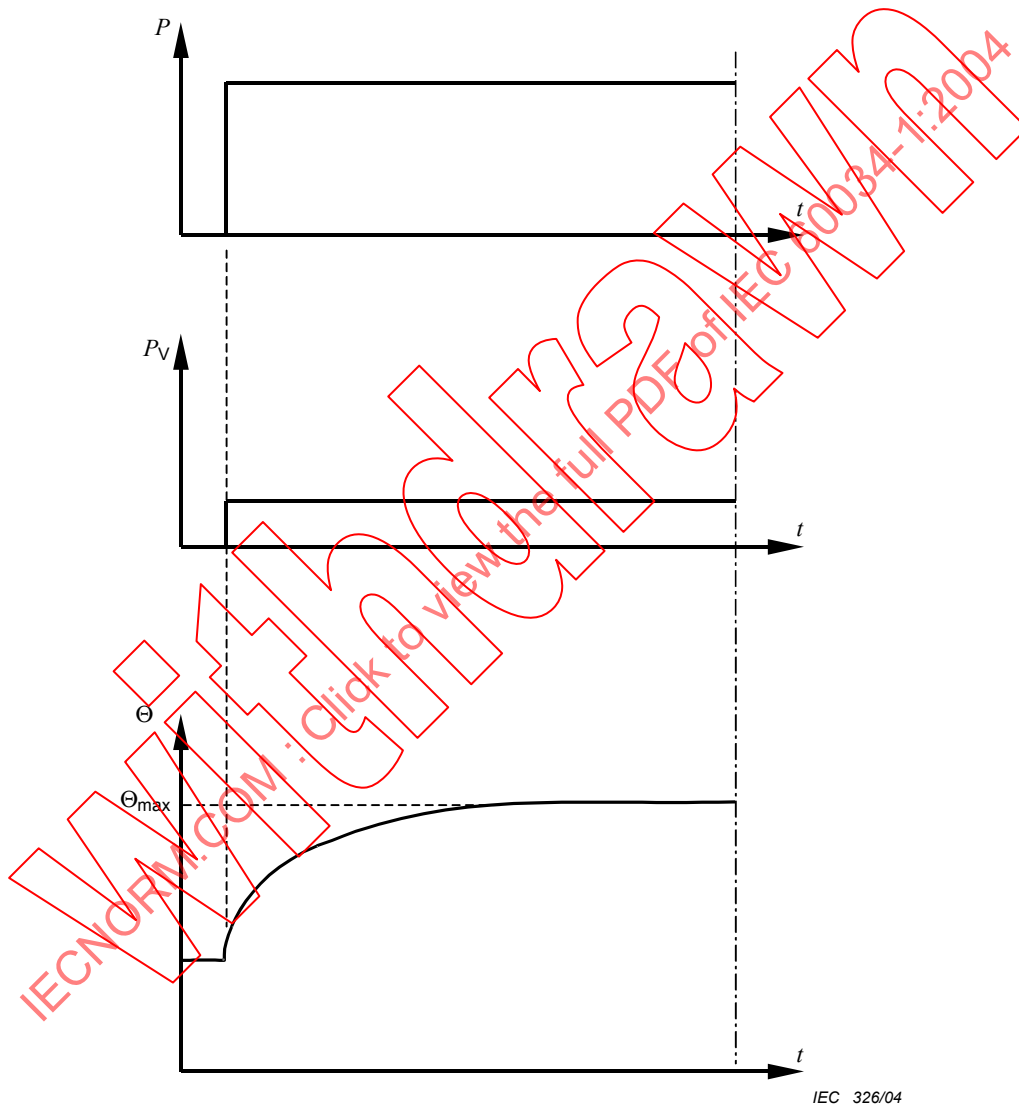
Where the purchaser does not declare a duty, the manufacturer shall assume that duty type S1 (continuous running duty) applies.

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
$\Theta_{\max}$	maximum temperature attained
t	time

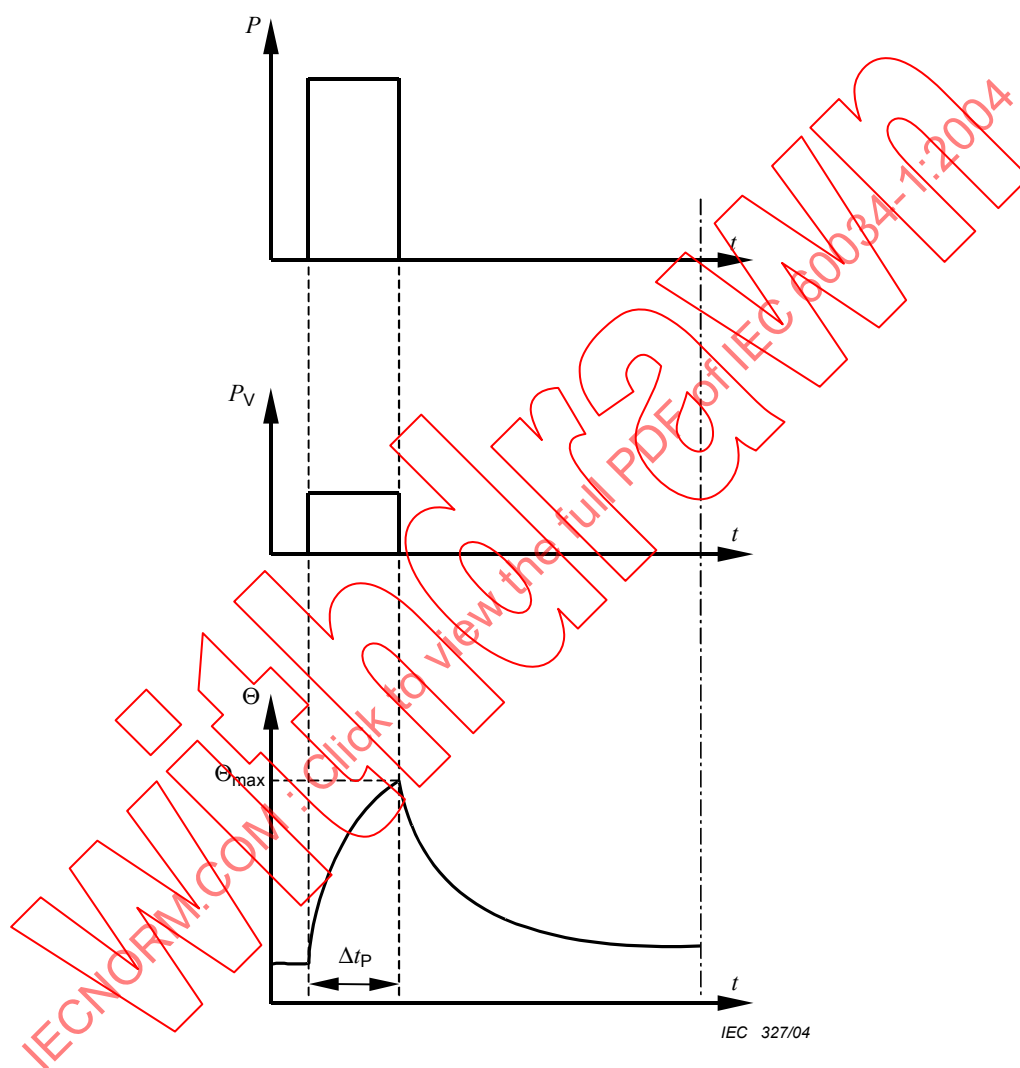
Figure 1 – Continuous running duty – Duty type S1

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 de-energized and at rest 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
$\Theta_{\max}$	maximum temperature attained
t	time
Δt_p	operation time at constant load

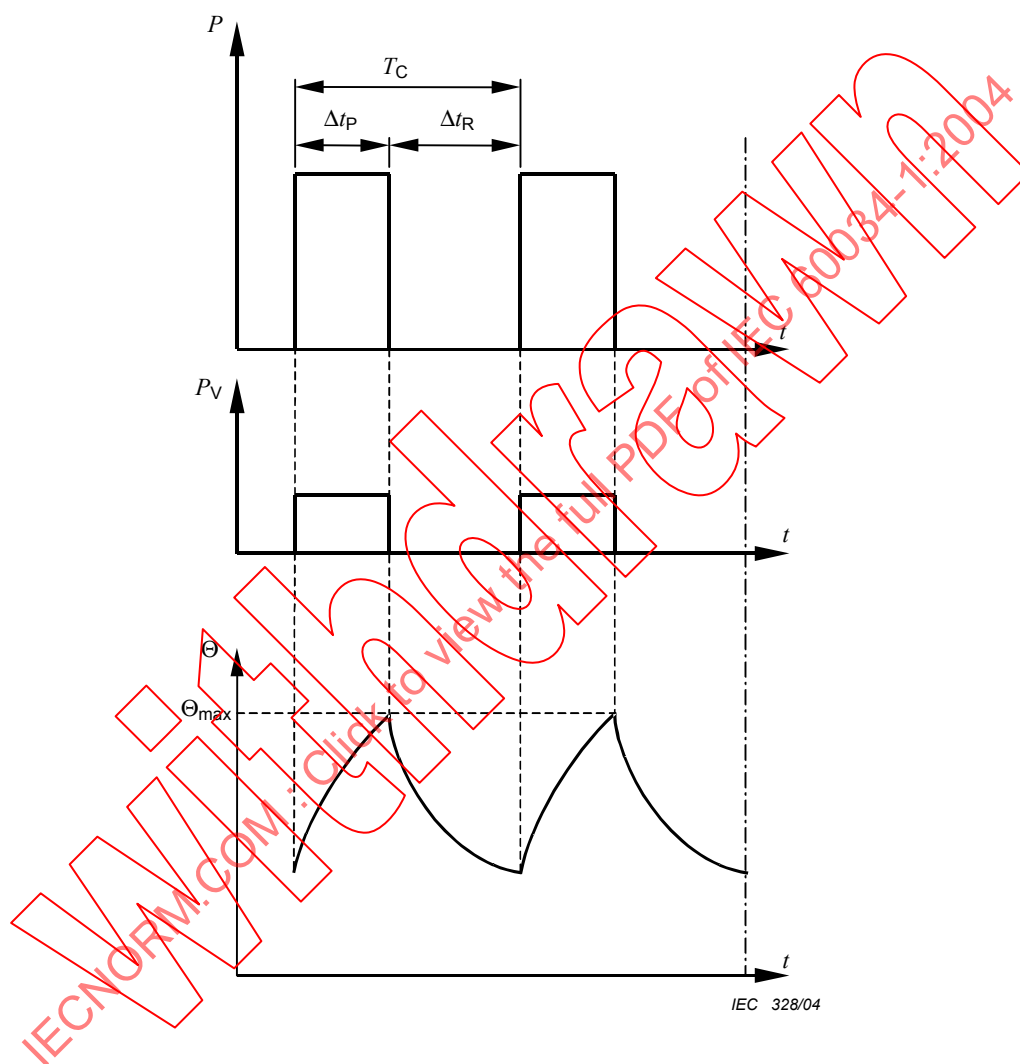
Figure 2 – Short-time duty – Duty type S2

4.2.3 Duty type S3 – Intermittent periodic duty ²

A sequence of identical duty cycles, each including a time of operation at constant load and a time de-energized and at rest, 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
$\Theta_{\max}$	maximum temperature attained
t	time
T_C	time of one load cycle
Δt_P	operation time at constant load
Δt_R	time de-energized and at rest
Cyclic duration factor = $\Delta t_P / T_C$	

Figure 3 – Intermittent periodic duty – Duty type S3

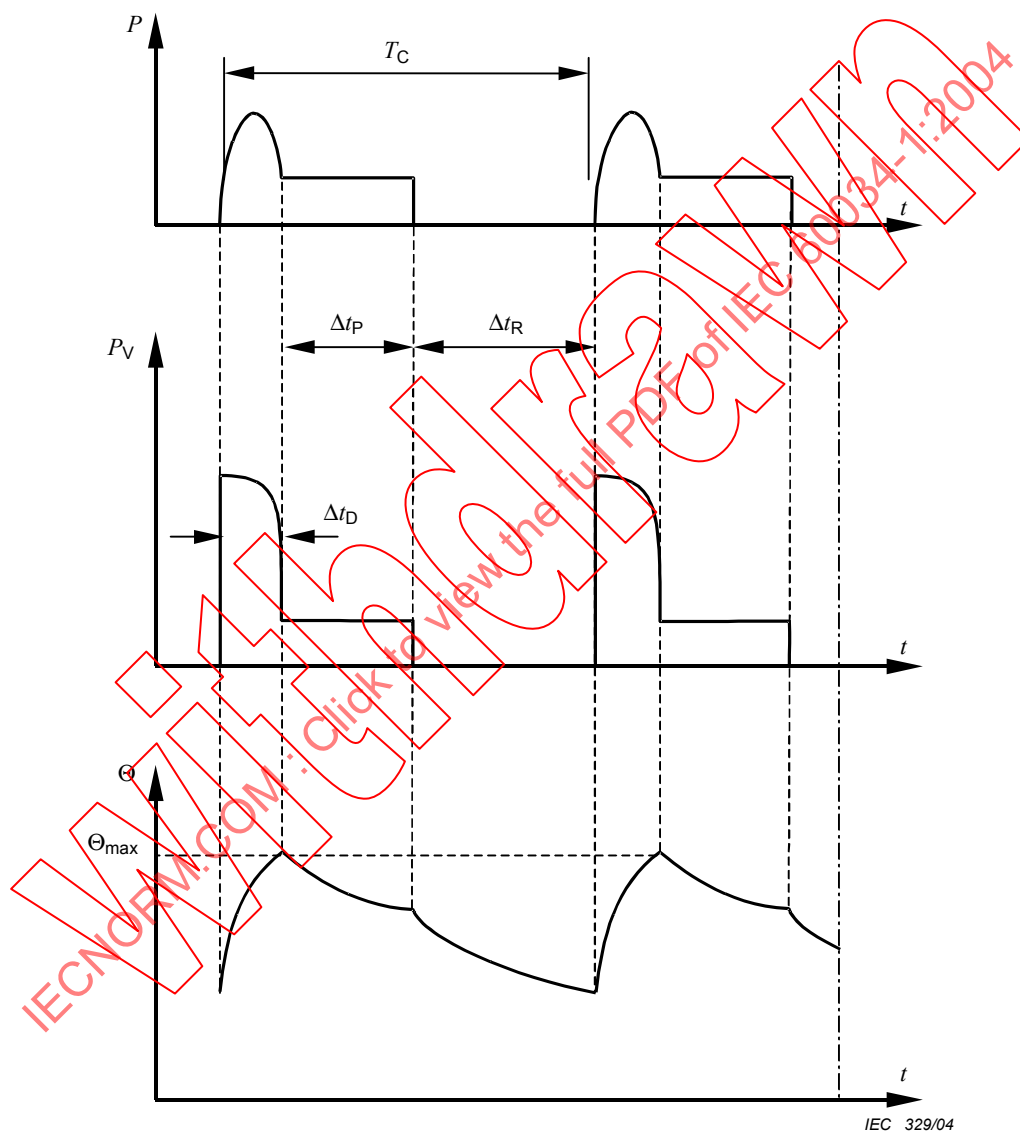
²⁾ Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

4.2.4 Duty type S4 – Intermittent periodic duty with starting ²

A sequence of identical duty cycles, each cycle including a significant starting time, a time of operation at constant load and a time de-energized and at rest, 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 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



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 de-energized and at rest

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

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

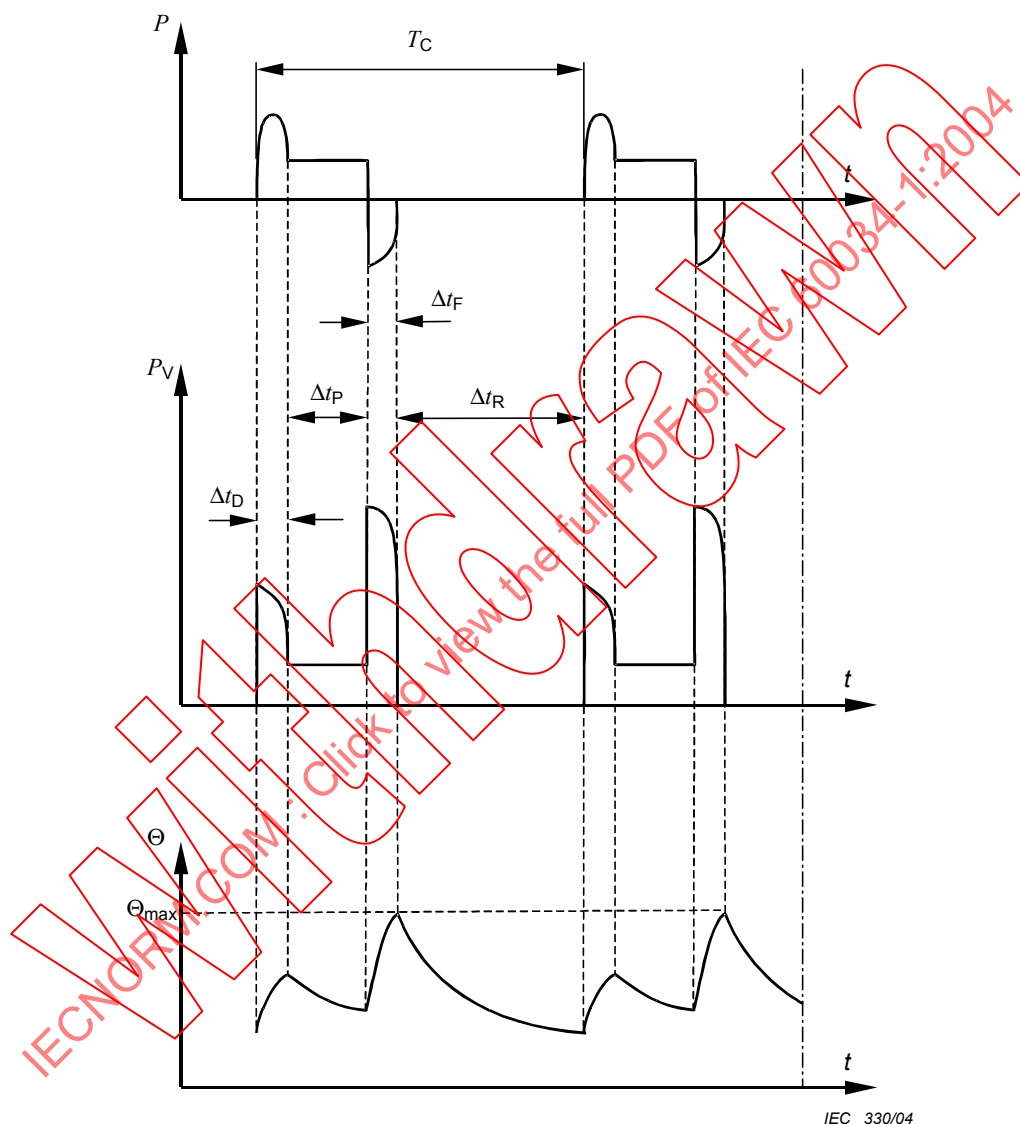
² Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

4.2.5 Duty type S5 – Intermittent periodic duty with electric braking ²

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 de-energized and at rest, 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 de-energized and at rest

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

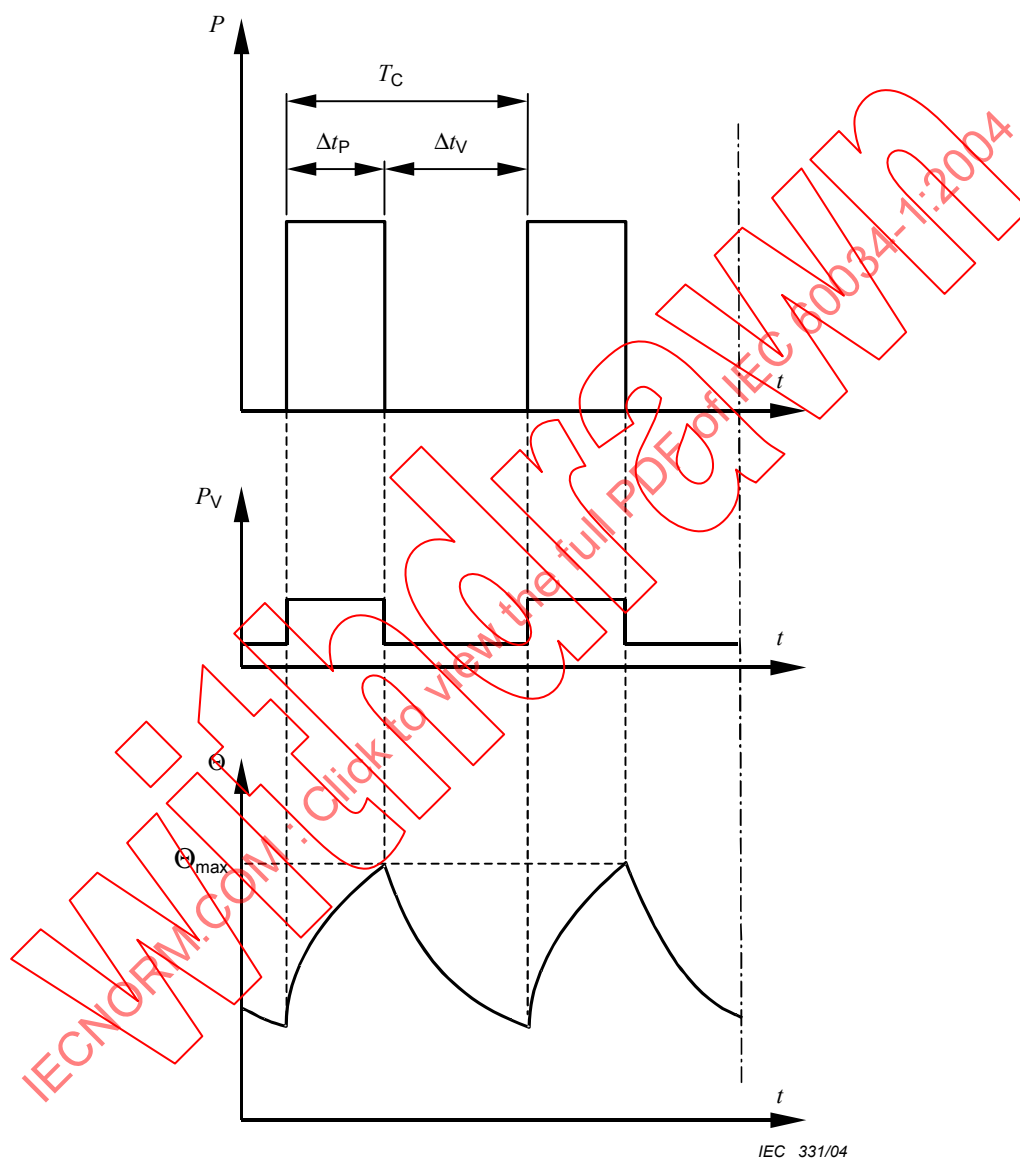
² Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

4.2.6 Duty type S6 – Continuous-operation periodic duty ²

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 de-energized and at rest, 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
$\Theta_{\max}$	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

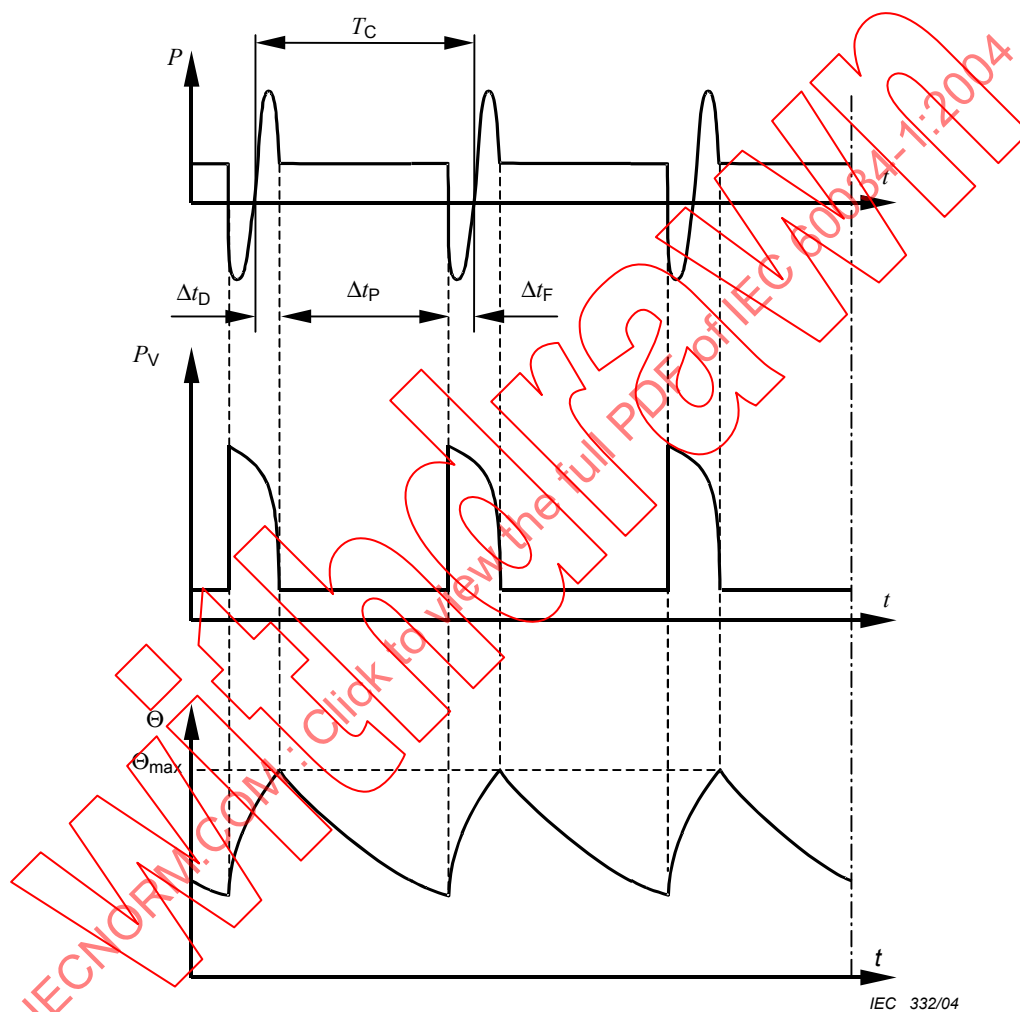
² Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

4.2.7 Duty type S7 – Continuous-operation periodic duty with electric braking ²

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 de-energized and at rest, 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

² Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

4.2.8 Duty type S8 – Continuous-operation periodic duty with related load/speed changes ²

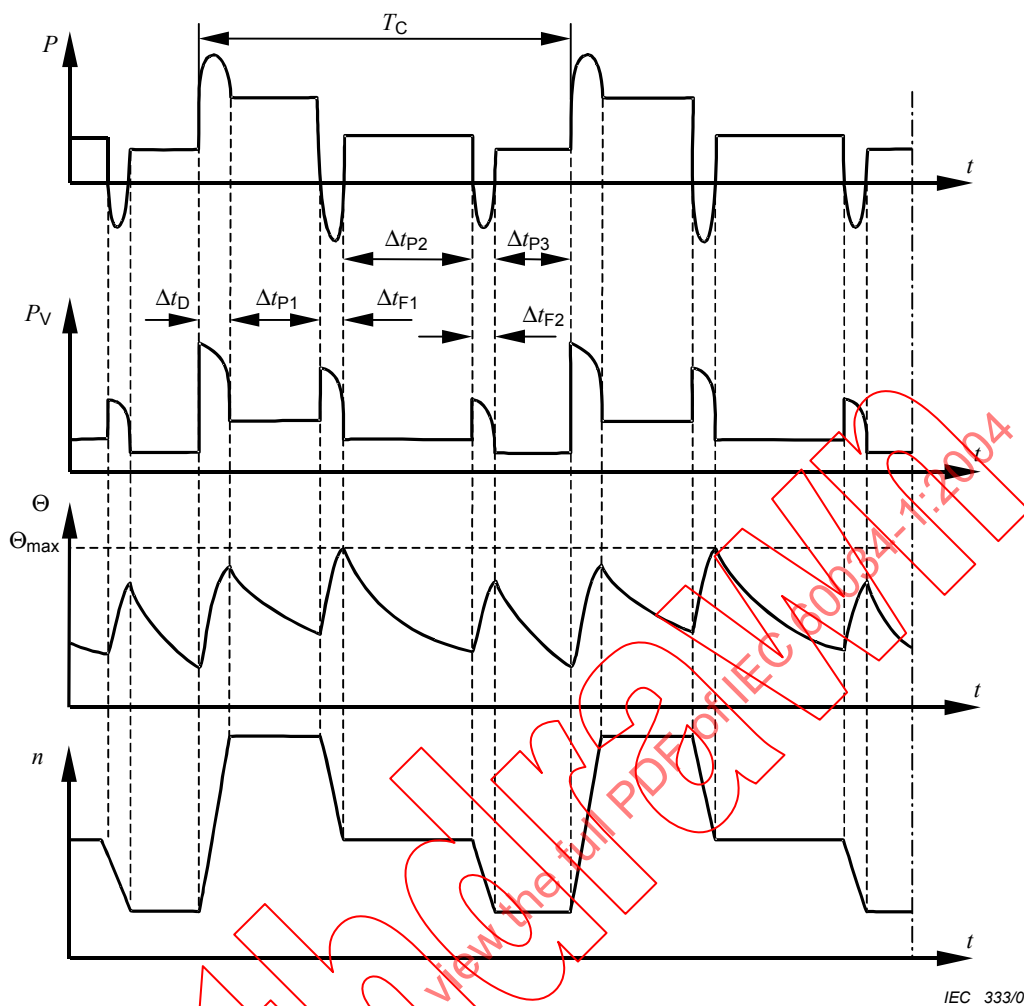
A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a time of operation at constant load corresponding to a predetermined speed of rotation, followed by one or more times of operation at other constant loads corresponding to different speeds of rotation (carried out, for example, by means of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

² Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.



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)

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.

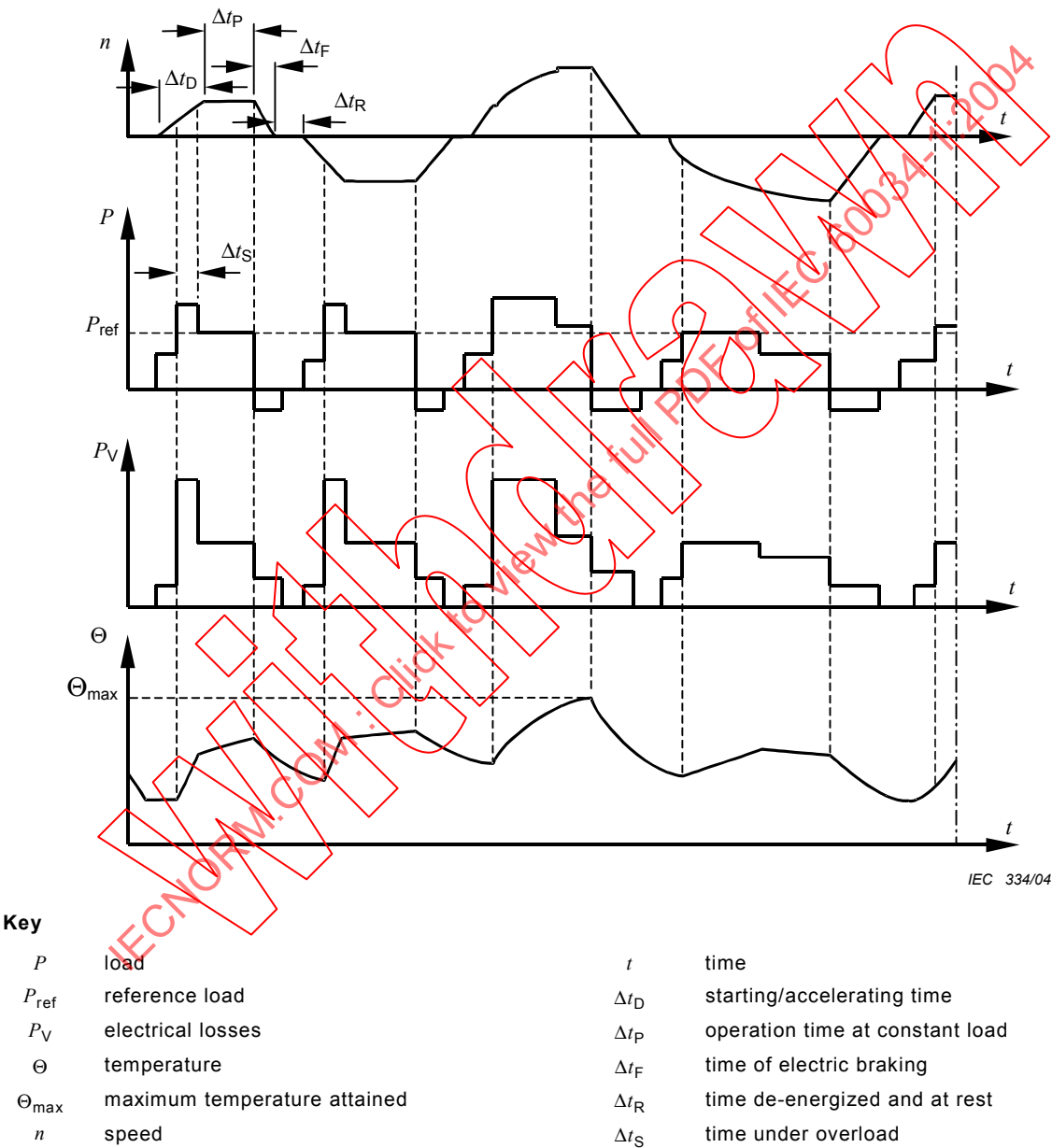


Figure 9 – Duty with non-periodic load and speed variations – Duty type S9

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 de-energized and at rest).

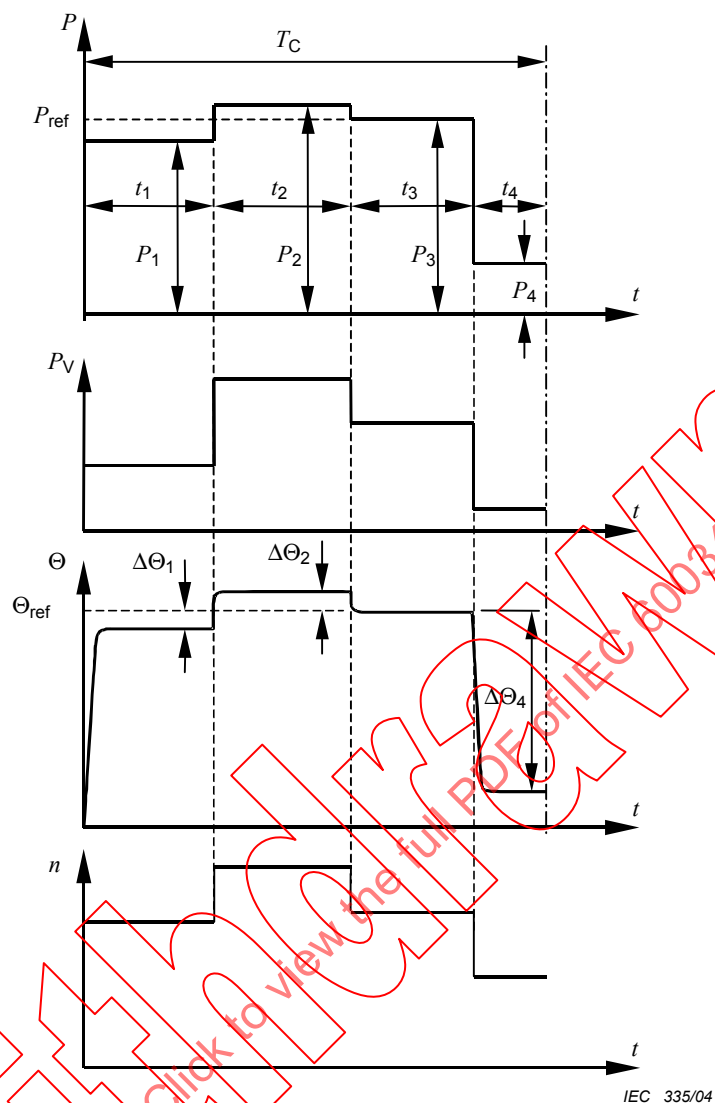
The appropriate abbreviation is S10, followed by the per unit quantities $p/\Delta t$ for the respective load and its duration and the per unit quantity TL for the relative thermal life expectancy of the insulation system. The reference value for the thermal life expectancy is the thermal life expectancy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

Example: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $TL = 0,6$

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.

NOTE 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.

**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 60034-17 gives guidance for the case of cage induction motors covered in IEC 60034-12.

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 standard.

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 standard.

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 standard.

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 standard.

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 standard. 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 de-energized and at rest. 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.

NOTE 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 'equivalent'.

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 de-energized and at rest, 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 non-periodically to supply 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 de-energized and at rest) 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.

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 condensers

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

5.6 Rated voltage

5.6.1 DC generators

For d.c. 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 a.c. 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.

5.7 Co-ordination of voltages and outputs

It is not practical to build machines of all ratings for all rated voltages. In general, for a.c. 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 standard in all respects at each rating.

For multi-speed motors, 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 operating conditions

6.1 General

Unless otherwise specified, machines shall be suitable for the following site operation conditions. For site operating conditions deviating from those values, corrections are given in Clause 8.

6.2 Altitude

The altitude shall not exceed 1 000 m above sea-level.

6.3 Maximum ambient air temperature

The ambient air temperature shall not exceed 40 °C.

6.4 Minimum ambient air temperature

The ambient air temperature shall not be less than –15 °C for any machine.

The ambient air temperature shall be not less than 0 °C for a machine with any of the following:

- rated output greater than 3 300 kW (or kVA) per 1 000 min⁻¹;
- rated output less than 600 W (or VA);
- a commutator;
- a sleeve bearing;
- water as a primary or secondary coolant.

6.5 Water coolant temperature

The water coolant temperature at the inlet to a machine or heat exchanger, or the ambient water (in the case of submersible machines with surface cooling or machines with water jacket cooling) shall not exceed +25 °C nor be less than +5 °C.

6.6 Storage and transport

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

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.

NOTE 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, 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 a.c. 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 a.c. machines, the voltages may be selected for optimum performance.

For a.c. motors supplied from static converters these restrictions on voltage, frequency and waveform do not apply. In this case, the rated voltages shall be selected by agreement.

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 a.c. 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 a.c. motors);

$k = 13$.

Three-phase a.c. 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 standard should be not more than approximately 10 K.

NOTE 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 60034-17 for the case of cage motors within the scope of IEC 60034-12.

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 a.c. machine.

7.2.2 AC generators

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

- result in currents not exceeding a harmonic current factor (*HCF*) of 0,05, and
- 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 standard 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			
1	Indirect cooled windings		
	motors	0,1	20
	generators	0,08	20
	synchronous condensers	0,1	20
2	Direct cooled (inner cooled) stator and/or field windings		
	motors	0,08	15
	generators	0,05	15
	synchronous condensers	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
	$>350 \leq 900$ MVA	See Note 1	See Note 2
	$>900 \leq 1\,250$ MVA	See Note 1	5
	$>1\,250 \leq 1\,600$ MVA	0,05	5
NOTE 1 For these machines, the value of I_2/I_N is calculated as follows:			
$\frac{I_2}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$			
NOTE 2 For these machines, the value of $(I_2/I_N)^2 \times t$, in seconds, is calculated as follows:			
$(I_2/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005\,45 (S_N - 350)$			
where in the two notes, S_N is the rated apparent power in MVA.			

7.2.4 DC motors supplied from static power converters

In the case of a d.c. 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 d.c. motor supplied from a pure d.c. 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 for converter connection according to IEC 60971;

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

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

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

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 and frequency variations during operation

For a.c. machines rated for use on a power supply of fixed frequency supplied from an a.c. 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 and synchronous condensers, and Figure 12 for motors.

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

A machine shall be capable of performing its primary function, as specified in Table 3, continuously within zone A, but need not comply fully with its performance at rated voltage and frequency (see rating point in Figures 11 and 12), 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.

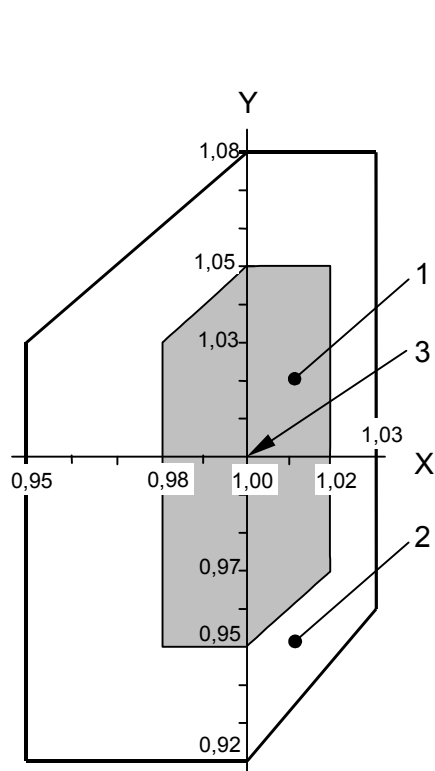
NOTE 1 In practical applications and operating conditions, a machine will sometimes be required to operate outside the perimeter of zone A. Such excursions should be limited in value, duration and frequency of occurrence. Corrective measures should be taken, where practical, within a reasonable time, for example, a reduction in output. Such action may avoid a reduction in machine life from temperature effects.

NOTE 2 The temperature-rise limits or temperature limits in accordance with this standard 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 standard by approximately 10 K.

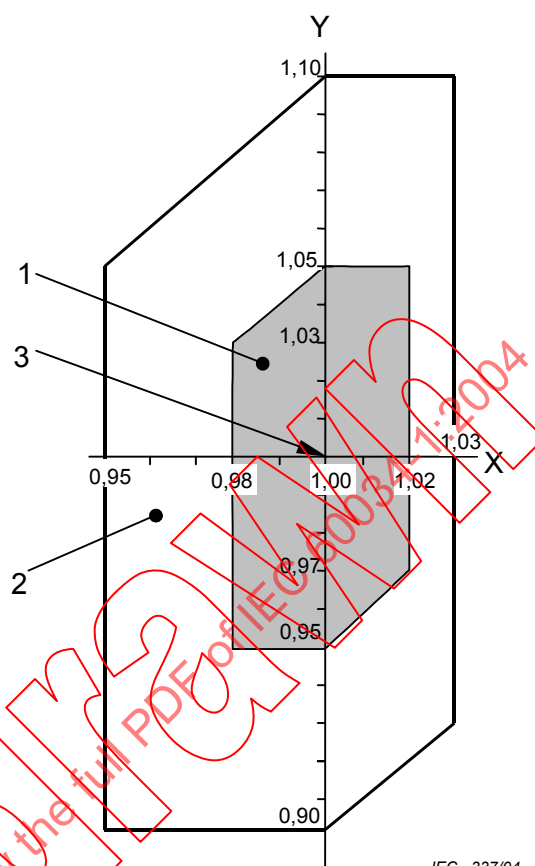
NOTE 3 An a.c. motor will start at the lower limit of voltage only if its starting torque is adequately matched to the counter-torque of the load, but this is not a requirement of this clause. For starting performance of design N motors, see IEC 60034-12.

Table 3 – 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 items 3 and 5	Rated torque (Nm)
3	Synchronous motor, excluding item 5	Rated torque (Nm), the excitation maintaining either rated field current or rated power factor, where this is separately controllable
4	Synchronous condenser, excluding item 5	Rated apparent power (kVA) within the zone applicable to a generator, see Figure 11, unless otherwise agreed
5	Turbine-type machine, 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



IEC 336/04



IEC 337/04

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 generators**Figure 12 – Voltage and frequency limits for motors****7.4 Three-phase a.c. machines operating on unearthed systems**

Three-phase a.c. 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.

NOTE 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.

7.5 Voltage (peak and gradient) withstand levels

For a.c. motors the manufacturer shall declare a limiting value for the peak voltage and for the voltage gradient in continuous operation.

For cage induction motors within the scope of IEC 60034-12, see also IEC 60034-17.

For high-voltage a.c. motors, see also IEC 60034-15.

8 Thermal performance and tests

8.1 Thermal class

A thermal class in accordance with IEC 62114 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 should not be assumed to be 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 4.

Table 4 – Reference coolant (see also Table 10)

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	7	Temperature rise	Ambient air
2	Air	Indirect	Air	7		Reference temperature: 40 °C
3	Air	Indirect	Water	7		Coolant at inlet to machine or ambient water Reference temperature of cooling gas at inlet to machine: 40 °C Reference temperature of ambient water: 25 °C (see note)
4	Hydrogen	Indirect	Water	8		
5	Air	Direct	None	12	Temperature	Ambient air
6	Air	Direct	Air	12		Reference temperature: 40 °C
7	Air	Direct	Water	12		Gas at entry to machine or liquid at entry to the windings Reference temperature: 40 °C
8	Hydrogen or liquid	Direct	Water	12		

NOTE 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 4.

NOTE A machine may be so arranged and cooled that more than one item of Table 4 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 a.c. motor 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.

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 11 (for indirect cooled windings) or Table 14 (for direct cooled windings).

8.3.4 Measurement of coolant temperature during test

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.

8.3.4.1 Open machines or 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.

8.3.4.2 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.

8.3.4.3 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 7 or 8) or of temperature (see Table 12), 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 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 61986.

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 8.5.1 shall be applied (but see also 8.6.2.3.3).

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

For a.c. 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 a.c. 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 7, 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 a.c. stator windings having only one coil-side per slot, the ETD method shall not be used for verifying compliance with this standard: the resistance method shall be used.

NOTE 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 standard.

For windings of armatures having commutators and for field windings the resistance method and the thermometer method are recognized. The resistance method is preferred but for stationary field windings of d.c. 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 methods shall be used:

- direct measurement at the beginning and the end of the test, using an instrument having a suitable range;
- measurement by d.c. current/voltage in d.c. windings, by measuring the current in and the voltage across the winding, using instruments having suitable ranges;
- measurement by d.c. current/voltage in a.c. windings by injecting direct current into the winding when de-energized;
- superposition method without interruption of the a.c. load current by superimposing on the load current a small d.c. measuring current, in accordance with IEC 60279.

8.6.2.2 Calculation

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

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

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 5, that reading shall be accepted for the temperature measurement.

Table 5 – Time interval

Rated output (P_N) kW or kVA	Time interval after switching off power 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 5, it shall be made as soon as possible but not after more than twice the interval specified in Table 5, 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 5 for the rated output of the machine. A semi-logarithmic plot is recommended where temperature 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 5, 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 5. If the machine takes more than 90 s to come to rest after switching off the power, the superposition method 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.

NOTE 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.

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 2 K per hour. If necessary, measurements shall be taken at reasonable intervals over a period of time.

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 6.

Table 6 – Measuring points

Type of bearing	Measuring point	Location of measuring point
Ball or roller	A	In the bearing housing and not more than 10 mm ¹ from the outer ring of the bearing ²
	B	Outer surface of the bearing housing as close as possible to the outer ring of the bearing
Sleeve	A	In the pressure zone of the bearing shell ³ and not more than 10 mm ¹ from the oil-film gap ² .
	B	Elsewhere in the bearing shell

¹ The distance is measured to the nearest point of the ETD or thermometer bulb.

² 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.

³ 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

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.

The limits are stated relative to the reference coolant specified in Table 4.

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

8.10.1 Indirect cooled windings

Temperature rises under reference conditions shall not exceed the limits given in Table 7 (air coolant) or Table 8 (hydrogen coolant) as appropriate.

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 9. (See also Table 10 for limit on coolant temperature which is assumed in Table 9.)

In the case of thermometer readings made in accordance with 8.6.1, the limit of temperature rise shall be according to Table 7.

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 11 shall apply at the test site.

If the adjusted limits given in Table 11 lead to permissible temperatures at the test site which the manufacturer considers to be excessive, the testing procedure and the limits shall be agreed.

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 7 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by air

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

1) For adjustment for high-voltage a.c. windings see item 4 of Table 9.

2) 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.

3) Also includes multiple layer windings provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.

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

Thermal class		130 (B)		155 (F)	
Method of measurement		Resistance	ETD	Resistance	ETD
ETD = Embedded temperature detector		K	K	K	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 ²⁾ ≤ 150 kPa (1,5 bar) > 150 kPa ≤ 200 kPa (2,0 bar) > 200 kPa ≤ 300 kPa (3,0 bar) > 300 kPa ≤ 400 kPa (4,0 bar) > 400 kPa	— — — — —	85 ¹⁾ 80 ¹⁾ 78 ¹⁾ 73 ¹⁾ 70 ¹⁾	— — — — —	105 ¹⁾ 100 ¹⁾ 98 ¹⁾ 93 ¹⁾ 90 ¹⁾
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 ¹⁾	100	110 ¹⁾
2b	DC field windings of a.c. and d.c. machines other than those in items 3 and 4	80	—	105	—
3	Field windings of turbo type machines having d.c. excitation	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 ³⁾	90	—	110	—

¹⁾ For adjustment for high-voltage a.c. windings see item 4 of Table 9.

²⁾ This is the only item where the limit of temperature rise is dependant on hydrogen pressure.

³⁾ Also includes multi-layer field windings provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.

Table 9 – 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 Tables 7 and 8
1a	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. 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 Tables 7 and 8 is less or equal to 5 K: For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 10.	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$ Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C.

Table 9 (continued)

Item	Operation conditions or rating		Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Tables 7 and 8
1b	Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at the inlet to the machine (θ_c) and for altitudes of up to 1000 m. 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 Tables 7 and 8 is larger than 5 K: For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 10.	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C, but this amount is reduced by the factor $\left(1 - \frac{\text{thermal class} - (40\text{ °C} + \text{lim.tmp.})}{80\text{ K}}\right)$ with lim.tmp. = limit of temperature rise according to Tables 7 or 8 at 40 °C cold coolant temperature
1c		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Reduced by the amount by which the coolant temperature exceeds 40 °C
1d		$\theta_c < 0$ or $\theta_c > 60\text{ °C}$	By agreement
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)	$5\text{ °C} \leq \theta_w \leq 25\text{ °C}$ $\theta_w > 25\text{ °C}$	Increased by 15 K and by the difference between 25 °C and θ_w Increased by 15 K and reduced by the difference between θ_w and 25 °C
3	Altitude (H)	$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ and maximum ambient air temperature not specified $H > 4000\text{ m}$	No adjustment. It shall be assumed that the reduced cooling resulting from altitude is compensated by a reduction of maximum ambient temperature below 40 °C and that the total temperature will therefore not exceed 40 °C plus the Table 7 and 8 temperature rises ¹⁾ By agreement
4	Rated stator winding voltage (U_N)	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$ $U_N > 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ 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 By agreement
5 ²⁾	Rating for short-time duty (S2), with rated output less than 5 000 kW (kVA)		Increased by 10 K
6 ²⁾	Rating for non-periodic duty (S9)		$\Delta\theta$ may be exceeded for short periods during the operation of the machine
7 ²⁾	Rating for duty with discrete loads (S10)		$\Delta\theta$ may be exceeded for discrete periods during the operation of the machine
¹⁾ 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 10. ²⁾ For air-cooled windings only.			

Table 10 – Assumed maximum ambient temperature

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

8.10.2 Direct cooled windings

Temperatures under reference conditions shall not exceed the limits given in Table 12.

For other operating site conditions the limits shall be adjusted according to Table 13.

If conditions at the test site differ from those at the operating site, the adjusted limits given in Table 14 shall apply at the test site.

If the adjusted limits given in Table 14 lead to temperatures at the test site which the manufacturer considers to be excessive, the testing procedure and the limits shall be agreed.

8.10.3 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 %.

8.10.4 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.

8.10.5 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 11 – 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 $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30 \text{ K}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta$
		Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30 \text{ K}$	By agreement
2	Difference of altitudes of test site (H_T) and operating site (H)	$1\,000 \text{ m} < H \leq 4\,000 \text{ m}$ $H_T < 1\,000 \text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 - \frac{H - 1\,000 \text{ m}}{10\,000 \text{ m}} \right)$
		$H < 1\,000 \text{ m}$ $1\,000 \text{ m} < H_T \leq 4\,000 \text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - 1\,000 \text{ m}}{10\,000 \text{ m}} \right)$
		$1\,000 \text{ m} < H \leq 4\,000 \text{ m}$ $1\,000 \text{ m} < H_T \leq 4\,000 \text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000 \text{ m}} \right)$
		$H > 4\,000 \text{ m}$ or $H_T > 4\,000 \text{ m}$	By agreement

NOTE 1 $\Delta\theta$ is given in Table 7 and adjusted if necessary in accordance with Table 9.

NOTE 2 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.

Table 12 – 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 a.c. 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)	Water	90	—	—	90	—	—
2	AC windings						
2a)	Gas cooled	—	—	120	—	—	145
2b)	Liquid cooled			Note 1			Note 1
3	Field windings of turbine type machines						
3a)	Cooled by gas leaving the rotor through the following number of outlet regions (Note 2)						
	1 and 2	—	100	—	—	115	—
	3 and 4	—	105	—	—	120	—
	6	—	110	—	—	125	—
	8 to 14	—	115	—	—	130	—
	above 14	—	120	—	—	135	—
3b)	Liquid 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 a.c. and d.c. machines having d.c. excitation other than in item 3.						
4a)	Gas cooled	—	130	—	—	150	—
4b)	Liquid cooled	Observance of the maximum coolant temperature given in item 1b) will ensure that the hotspot temperature of the winding is not excessive					

NOTE 1 No adjustment in the case of high-voltage a.c. windings is applicable to these items, see Table 13, item 2.

NOTE 2 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 13 – 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 12
1	Temperature θ_c of reference coolant	$0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	Reduction by the amount of the difference between $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and θ_c . However, by agreement, a smaller reduction may be applied, provided that for $\theta_c < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ the reduction is made at least equal to the difference between $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and θ_c .
		$40\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	No adjustment
		$\theta_c < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ or $\theta_c > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	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 14 – 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 $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30\text{ K}$	$\theta_T = \theta$
		Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30\text{ K}$	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 12 and adjusted if necessary in accordance with Table 13.			

9 Other performance and tests

9.1 Routine tests

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

The minimum test schedule is listed in Table 15 and is applicable for machines with rated output ≤ 20 MW (MVA). Additional routine tests may be performed especially on machines with ratings above 200 kW (kVA). The term synchronous machines includes permanent magnet machines.

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

Table 15 – Minimum schedule of routine tests

Number	Test	Induction machines (including synchronous induction motors) ¹	Synchronous machines		DC machines with separate or shunt excitation
			Motors	Generators	
1	Resistance of windings (cold)	Yes	Yes	Yes	Yes
2	No-load losses and current	Yes	–	–	–
3a	No-load losses at unity power factor ²	–	Yes ⁴	–	–
3b	No-load excitation current at rated voltage by open-circuit test ²	–	Yes ⁴	–	–
4	Excitation current at rated speed and rated armature voltage	–	–	–	Yes
5	Open circuit secondary induced voltage at standstill (wound rotor) ³	Yes	–	–	–
6a	Direction of rotation	Yes	Yes	–	Yes
6b	Phase sequence	–	–	Yes	–
7	Withstand voltage test according to 9.2	Yes	Yes	Yes	Yes
¹ IEC 411-33-04.					
² Permanent magnet machines excluded.					
³ For safety considerations this test may be performed at reduced voltage.					
⁴ Tests 3a and 3b are exclusive. Only one of these tests is required.					

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 works or after erection on site. When a thermal test is carried out, the withstand voltage test shall be carried out immediately after that 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.

Except as stated below, the test voltage shall be of power frequency and as near as possible to a sine wave form. The final value of the voltage shall be in accordance with Table 16. However, for machines with a rated voltage 6 kV or greater, when power frequency equipment is not available, then by agreement a d.c. test may be carried out at a voltage 1,7 times the r.m.s. value given in Table 16.

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

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 16. 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 16.

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 16.

To determine the test voltage from Table 16 for d.c. 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.

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 16 – Withstand voltage tests

Item	Machine or part	Test voltage (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 (Note 2)	1 000 V + twice the rated voltage with a minimum of 1 500 V (Note 1)
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 (Note 2) Rated voltage (Note 1): - 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 d.c. 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 condensers.	
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 (Note 3)
6	Secondary (usually rotor) windings of induction motors 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)

Item	Machine or part	Test voltage (r.m.s.)
7	Exciters (except as below)	As for the windings to which they are connected
	<i>Exception 1:</i> exciters of synchronous motors (including synchronous induction motors) if connected to earth or disconnected from the field windings during starting	1 000 V + twice the rated exciter voltage, with a minimum of 1 500 V
	<i>Exception 2:</i> separately excited field windings of exciters (see item 4)	
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 (Note 4)
9	Devices that are in physical contact with windings, for example, temperature detectors, shall be tested to the machine frame. During the withstand test on the machine, all devices in physical contact with the winding shall be connected to the machine frame.	1 500 V
NOTE 1 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. NOTE 2 Withstand tests on machines having graded insulation should be the subject of agreement. NOTE 3 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. NOTE 4 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.		

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

NOTE Attention should be given to the limits of commutation capability.

9.4 Momentary excess torque for motors

9.4.1 Polyphase induction motors and d.c. 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.

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

For d.c. motors, the 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.

NOTE 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 %.

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 for single-phase, commutator and other motors shall be the subject of agreement.

9.5 Pull-up torque

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.

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 17 unless otherwise stated on the rating plate.

Table 17 – 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.			

NOTE 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 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 18.

An overspeed test is not normally considered necessary but can be performed when this is specified and has been agreed. (For turbine-type a.c. 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 18 – 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 test excitation, 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 16) 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 d.c. or a.c. 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.

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 $16\frac{2}{3}$ 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 a.c. 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.

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 machine to the line-to-line terminal fundamental voltage U_1 of the machine;

n is the order of harmonic;

$k = 100$.

10 Rating plates

10.1 General

Every electrical machine shall be provided with a rating plate(s). The plates shall be made of durable material and be securely mounted.

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.

10.2 Marking

Machines with rated outputs up to and including 750 W (or VA) and dimensions not covered by IEC 60072 shall be marked with the information given in items 1, 2, 11, 12 and 26 below as a minimum. For special-purpose and built-in machines with rated outputs up to and including 3 kW (or kVA) items 1, 2, 11 and 12 shall be marked as a minimum and item 26 may be provided in another form.

In all other cases, rating plate(s) shall be durably marked with the items in the following list, 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.

If the manufacturer gives more information, this need not necessarily be marked on the rating plate(s).

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

- 1) The manufacturer's name or mark.
- 2) The manufacturer's serial number, or identification mark.

NOTE 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.

- 3) Information to identify the year of manufacture. This shall be marked on the rating plate or be given on a separate data sheet to be provided with the machine.

NOTE If this information can be obtained from the manufacturer by quoting the data specified in item 2, it may be omitted from both the rating plate and the separate data sheet.

- 4) The manufacturer's machine code.
- 5) For a.c. machines, the number of phases.
- 6) 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.
- 7) The degree of protection provided by the integral design of the rotating electrical machine enclosures (IP code) in accordance with IEC 60034-5.
- 8) The thermal class and the limit of temperature or of temperature rise (when lower than that of the thermal class) 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.
- 9) The class(es) of rating of the machine if designed for other than rating for continuous running duty S1, see 5.2.
- 10) The rated output(s) or range of rated output.
- 11) The rated voltage(s) or range of rated voltage.
- 12) For a.c. machines the rated frequency or range of rated frequency.
For universal motors, the rated frequency shall be followed by the appropriate symbol:
for example, ~ 50 Hz/ or a.c. 50 Hz/d.c.
- 13) The rated current(s) or range of rated current.
- 14) The rated speed(s) or range of rated speed.
- 15) The permissible overspeed if other than specified in 9.7.
or
the maximum safe operating speed if less than in 9.6.
- 16) For d.c. machines with separate excitation or with shunt excitation and for synchronous machines, the rated field voltage and the rated field current.
- 17) For a.c. machines, the rated power factor(s).
- 18) For wound-rotor induction machines, the rated open-circuit voltage between slip-rings and the rated slip-ring current.
- 19) For d.c. motors with armatures intended to be supplied by static power converters, the identification code of the static power converter in accordance with IEC 60971. Alternatively, for motors not exceeding 5 kW, 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.
- 20) The maximum ambient air temperature, if other than 40 °C.
The maximum water coolant temperature, if other than 25 °C.
- 21) The minimum ambient air temperature if other than specified in 6.4.
- 22) The altitude for which the machine is designed (if exceeding 1 000 m above sea-level).
- 23) For hydrogen-cooled machines, the hydrogen pressure at rated output.

- 24) When specified, the approximate total mass of the machine, if exceeding 30 kg.
- 25) For machines suitable for operation in only one direction of rotation, the direction of rotation, indicated by an arrow. This arrow need not be on the rating plate, but it shall be easily visible.
- 26) The connecting instructions in accordance with IEC 60034-8 by means of a diagram or text located near the terminals.

Two different rated values shall be indicated by X/Y and a range of rated values shall be indicated by X–Y (see IEC 61293).

Except for normal maintenance, 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 and the changes made.

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  or legend shall identify this device. However, machines shall neither be earthed nor be provided with an earthing terminal when:

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

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

In the case of machines having rated voltages greater than 50 V a.c. or 120 V d.c., but not exceeding 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c., 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 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. 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. 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 live 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 19. If an earthing conductor larger than the size given in the Table 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 live conductors, the earthing or protective conductor shall have a cross-sectional area at least equivalent to:

- that of the live 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 live conductor for cross-sectional areas exceeding 50 mm².

The earthing terminal shall be identified in accordance with IEC 60445.

Table 19 – Cross-sectional areas of earthing conductors

Cross-sectional area of the live 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

Unless stated otherwise, tolerances on declared values shall be as specified in Table 20.

Table 20 – Schedule of tolerances on values of quantities

Item	Quantity	Tolerance
1	Efficiency η – machines up to and including 150 kW (or kVA) – machines above 150 kW (or kVA)	–15 % of $(1 - \eta)$ –10 % of $(1 - \eta)$
2	Total losses (applicable to machines with ratings >150 kW or kVA)	+10 % of the total losses
3	Power-factor, $\cos \phi$, for induction machines	–1/6 $(1 - \cos \phi)$ Minimum absolute value 0,02 Maximum absolute value 0,07
4	Speed of d.c. motors (at full load and at working temperature) ¹	
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 d.c. 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 d.c. 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.)

Item	Quantity	Tolerance
8 a)	Slip of induction motors (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 a.c. (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
10	Locked rotor torque of cage induction motors	+25 % of the torque. –15 % of the torque. (+25 % may be exceeded by agreement)
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 % of the value –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 a.c. generator under specified conditions	$\pm 30 \%$ of the value
17	Steady short-circuit current of an a.c. generator at specified excitation	$\pm 15 \%$ of the value
18	Moment of inertia	$\pm 10 \%$ of the value
NOTE When a tolerance is stated in only one direction, the value is not limited in the other direction.		
¹ Tolerances in item 4 depend on the ratio of rated output P_N in kW, to rated speed in min^{-1} .		

13 Electromagnetic compatibility (EMC)

13.1 General

The following requirements apply to rotating electrical machines with rated voltages not exceeding 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and which are intended for operation in 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 standard.

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

NOTE 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.

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

13.3.1 Machines without brushes

Radiated and conducted emissions shall comply with the requirements of CISPR 11, Class B, Group 1, see Table B.1.

13.3.2 Machines with brushes

Radiated and conducted (if applicable) emissions shall comply with the requirements of CISPR 11, Class A, Group 1, see Table B.2.

13.4 Immunity tests

Immunity tests are not required.

13.5 Emission tests

Type tests shall be carried out in accordance with CISPR 11, CISPR 14 and CISPR 16 as applicable.

13.5.1 Machines without brushes

Machines without brushes shall comply with the emission limits of 13.3.1.

NOTE The emission from squirrel cage induction motors are always so low that testing is not needed.

13.5.2 Machines with brushes

Machines with brushes, when tested at no-load, shall comply with the emission limits of 13.3.2.

NOTE 1 The no-load measurement is justified by the negligible influence of load on the emission.

NOTE 2 There are no conducted emissions from d.c. machines as they are not directly connected to the a.c. supply.

NOTE 3 The emission from earthing brushes are always so low that testing is not needed.

14 Safety

Rotating machines in accordance with this standard 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 standard, 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: *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres*,

and other parts of IEC 60034 including:

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

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

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

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 for machines without brushes

	Frequency range	Limits
Radiated emission	30 MHz to 230 MHz	30 dB(μV/m) quasi peak, measured at 10 m distance (Note 1)
	230 MHz to 1 000 MHz	37 dB(μV/m) quasi peak, measured at 10 m distance (Note 1)
Conducted emission on a.c. 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 1 May be measured at 3 m distance using the limits increased by 10 dB.		
NOTE 2 Emission limits are from CISPR 11, Class B, Group 1.		

Table B.2 – Electromagnetic emission limits for machines with brushes

	Frequency range	Limits
Radiated emission	30 MHz to 230 MHz	30 dB(μV/m) quasi peak, measured 30 m distance (Note 1)
	230 MHz to 1 000 MHz	37 dB(μV/m) quasi peak, measured 30 m distance (Note 1)
Conducted emission on a.c. 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 1 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.		
NOTE 2 Emission limits are from CISPR 11, Class A, Group 1.		

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	73
1 Domaine d'application	75
2 Références normatives	75
3 Définitions	77
4 Services	81
4.1 Spécification du service	81
4.2 Services types	82
5 Caractéristiques assignées	94
5.1 Attribution des caractéristiques assignées	94
5.2 Classes de caractéristiques assignées	94
5.3 Choix d'une classe de caractéristiques assignées	95
5.4 Attribution de la puissance à une classe de caractéristiques assignées	96
5.5 Puissance assignée	96
5.6 Tension assignée	96
5.7 Coordination des tensions et des puissances	96
5.8 Machines à plus d'un ensemble de caractéristiques assignées	97
6 Conditions de fonctionnement sur site	97
6.1 Généralités	97
6.2 Altitude	97
6.3 Température maximale de l'air ambiant	97
6.4 Température minimale de l'air ambiant	97
6.5 Température de l'eau de refroidissement	98
6.6 Stockage et transport	98
6.7 Pureté de l'hydrogène de refroidissement	98
7 Conditions de fonctionnement électriques	98
7.1 Alimentation électrique	98
7.2 Forme et symétrie des tensions et des courants	98
7.3 Variations de tension et de fréquence en fonctionnement	101
7.4 Machines triphasées à courant alternatif fonctionnant sur réseaux isolés	103
7.5 Niveaux de tenue en tension (crête et gradient)	104
8 Caractéristiques thermiques de fonctionnement et essais thermiques	104
8.1 Classification thermique	104
8.2 Fluide de refroidissement de référence	104
8.3 Conditions des essais thermiques	105
8.4 Échauffement d'un élément de machine	106
8.5 Méthodes de mesurage de la température	106
8.6 Détermination de la température d'enroulement	107
8.7 Durée des essais thermiques	110
8.8 Détermination de la constante de temps thermique équivalente des machines pour service type S9	111
8.9 Mesurage de la température des paliers	111
8.10 Limites d'échauffement et de température	111

9	Autres caractéristiques de fonctionnement et essais	120
9.1	Essais individuels	120
9.2	Essais de tension de tenue	121
9.3	Surintensité occasionnelle	123
9.4	Excès momentané de couple des moteurs	124
9.5	Couple minimal pendant le démarrage	125
9.6	Vitesse de sécurité en fonctionnement des moteurs à induction à cage	125
9.7	Survitesse	126
9.8	Courant de court-circuit des machines synchrones	127
9.9	Epreuve de tenue au court-circuit des machines synchrones	127
9.10	Essai de commutation pour machines à collecteur	127
9.11	Distorsion harmonique totale (DHT) pour machines synchrones	127
10	Plaques signalétiques	128
10.1	Généralités	128
10.2	Marquage	128
11	Exigences diverses	130
11.1	Mise à la terre de protection des machines	130
11.2	Clavette(s) de bout d'arbre	131
12	Tolérances	132
12.1	Généralités	132
13	Compatibilité électromagnétique (CEM)	134
13.1	Généralités	134
13.2	Immunité	134
13.3	Emission	134
13.4	Essais d'immunité	134
13.5	Essais d'émission	135
14	Sécurité	135
Annexe A (informative) Guide pour l'application du service type S10 et pour l'obtention de la valeur relative de l'espérance de vie thermique TL		136
Annexe B (informative) Limites de Compatibilité Electromagnétique (CEM)		137
Figure 1 – Service continu – Service type S1		82
Figure 2 – Service temporaire – Service type S2		83
Figure 3 – Service intermittent périodique – Service type S3		84
Figure 4 – Service intermittent périodique à démarrage – Service type S4		85
Figure 5 – Service intermittent périodique à freinage électrique – Service type S5		86
Figure 6 – Service ininterrompu périodique à charge intermittente – Service type S6		87
Figure 7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7		88
Figure 8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse -- Service type S8		90
Figure 9 – Service à variations non périodique de charge et de vitesse – Service type S9		91
Figure 10 – Service avec charges constantes distinctes – Service type S10		93
Figure 11 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les alternateurs		103
Figure 12 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les moteurs		103

Tableau 1 – Tensions assignées préférables	97
Tableau 2 – Conditions de fonctionnement déséquilibrées pour les machines synchrones	100
Tableau 3 – Fonctions principales des machines	102
Tableau 4 – Fluide de refroidissement de référence (voir aussi Tableau 10)	104
Tableau 5 – Délai	109
Tableau 6 – Points de mesure	111
Tableau 7 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par l'air	113
Tableau 8 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par hydrogène	114
Tableau 9 – 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 les conditions de référence	114
Tableau 10 – Températures ambiantes maximales présumées	116
Tableau 11 – 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	117
Tableau 12 – Limites des températures des enroulements à refroidissement direct et de leurs fluides de refroidissement	118
Tableau 13 – 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 les conditions de référence	119
Tableau 14 – Limites corrigées de température sur le site d'essai θ_T pour les enroulement à refroidissement direct par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai	119
Tableau 15 – Liste minimale des essais individuels	120
Tableau 16 – Essais de tension de tenue	122
Tableau 17 – Vitesse maximale de sécurité en fonctionnement (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	125
Tableau 18 – Survitesses	126
Tableau 19 – Section des conducteurs de terre	131
Tableau 20 – Nomenclature des tolérances sur les valeurs des grandeurs	132
Tableau B.1 – Limites d'émission électromagnétique pour les machines sans balais	137
Tableau B.2 – Limites d'émission électromagnétique pour les machines avec balais	137

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60034-1 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Cette onzième édition annule et remplace la dixième édition, parue en 1996, ainsi que ses amendements 1 (1997) et 2 (1999); elle constitue une révision technique.

Les principales modifications apportées par cette édition sont les suivantes:

Article ou Paragraphe	Modifications
7.2.2	Nouvelles spécifications pour les alternateurs qui alimentent des circuits non linéaires
8	Modifications importantes dans les Tableaux 4, 7 et 9
9.1	Nouvelles spécifications pour les essais individuels
9.2	Tableau 16 Essais de tension des auxiliaires
9.11	Distorsion harmonique totale (DHT) pour machines synchrones
11.1	Mise à la terre de protection des machines
12.1	Tableau 20 Tolérance sur le rendement
13	Compatibilité électromagnétique

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1278/FDIS	2/1294/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 est applicable à toutes les machines électriques tournantes à l'exception de celles qui font l'objet d'autres normes de la CEI, par exemple la CEI 60349.

Les machines comprises dans le domaine d'application de la présente norme peuvent également être soumises à des exigences nouvelles, modifiées ou complémentaires figurant dans d'autres publications – par exemple, la CEI 60079 et la CEI 60092.

NOTE S'il est nécessaire de modifier certains articles de la présente norme afin de permettre des applications spéciales, par exemple pour les matériels soumis à des rayonnements ou les matériels aérospatiaux, tous les autres articles restent valables, pour autant qu'ils ne soient pas en contradiction avec ces spécifications particulières.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants sont indispensables pour l'application de la présente norme. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé s'applique (y compris les amendements).

CEI 60027-1, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 1: Généralités*

CEI 60027-4, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 4: Symboles des grandeurs relatives aux machines électriques tournantes*

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

CEI 60034-3, *Machines électriques tournantes – Partie 3: Règles spécifiques pour les turbomachines synchrones*

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

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

CEI 60034-8, *Machines électriques tournantes – Partie 8: Marques d'extrémité et sens de rotation*

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

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

CEI 60034-17, *Machines électriques tournantes – Partie 17: Moteurs à induction à cage alimentés par convertisseurs – Guide d'application*

CEI 60034-18 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes – Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation*

CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60050(411):1996, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 411: Machines tournantes*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60072 (toutes les parties), *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes*

CEI 60204-1, *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 1: Règles générales*

CEI 60204-11, *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 11: Prescriptions pour les équipements HT fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c. et ne dépassant pas 36 kV*

CEI 60279, *Mesure de la résistance des enroulements d'une machine à courant alternatif en fonctionnement sous tension alternative*

CEI 60335-1, *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 1: Prescriptions générales*

CEI 60445, *Principes fondamentaux et de sécurité pour les interfaces hommes-machines, le marquage et l'identification – Identification des bornes de matériels et des extrémités de certains conducteurs désignés et règles générales pour un système alphanumérique*

CEI 60971, *Convertisseurs à semi-conducteurs – Code d'identification pour montages convertisseurs*

CEI 61293, *Marquage des matériels électriques avec des caractéristiques assignées relatives à l'alimentation électrique – Prescriptions de sécurité*

CEI 61986, *Machines électriques tournantes – Charge équivalente et techniques par superposition – Essais indirects pour déterminer l'échauffement*

CEI 62114, *Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Classification thermique*

CISPR 11, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) à fréquence radioélectrique – Caractéristiques de perturbations électromagnétiques – Limites et méthodes de mesure*

CISPR 14, *Compatibilité électromagnétique – Exigences pour les appareils électrodomestiques, outillages électriques et appareils analogues*

CISPR 16, *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 définitions de la CEI 60050(411) s'appliquent ainsi que les définitions suivantes.

Pour des définitions autres que celles de 3.17 à 3.22 concernant les modes et les fluides de refroidissement, se référer à la CEI 60034-6.

Au sens de la présente norme, le terme «accord» signifie «accord entre le constructeur et l'acheteur».

3.1

valeur assignée

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

[VEI 411-51-23]

NOTE La tension assignée ou plage de tensions assignées est la tension assignée ou plage de tensions assignées entre phases aux bornes.

3.2

caractéristiques assignées

ensemble des valeurs assignées et des conditions de fonctionnement

[VEI 411-51-24]

3.3

puissance assignée

valeur de la puissance incluse dans les caractéristiques assignées

3.4

charge

ensemble des valeurs des grandeurs électriques et mécaniques qui caractérisent les exigences imposées à une machine tournante par un circuit électrique ou un dispositif mécanique, à un instant donné.

[VEI 411-51-01]

3.5

fonctionnement à vide

état de fonctionnement d'une machine tournant à puissance nulle (mais les autres conditions étant les conditions normales de fonctionnement)

[VEI 411-51-02 modifiée]

3.6

pleine charge

charge amenant une machine à fonctionner à ses caractéristiques assignées

[VEI 411-51-10]

3.7

valeur de pleine charge

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

[VEI 411-51-11]

NOTE Cette notion est applicable à la puissance, au couple, au courant, à la vitesse, etc.

3.8

repos

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

[VEI 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

[VEI 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

[VEI 411-51-13]

3.11

facteur de marche

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

[VEI 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

[VEI 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

[VEI 411-48-16]

3.14

couple minimal pendant le démarrage (d'un moteur à courant alternatif)

valeur la plus faible 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

Cette définition ne s'applique pas au cas de moteurs asynchrones dont le couple décroît continuellement lorsque la vitesse augmente.

NOTE En plus des couples asynchrones en régime établi, il existe, à des vitesses spécifiques, des couples harmoniques synchrones qui sont fonction de l'angle de charge du rotor.

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

L'expérience et le calcul montrent 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 (couple de décrochage) (d'un moteur à courant alternatif)**

valeur maximale en régime établi du couple asynchrone que le moteur développe sans chute brutale de vitesse, lorsqu'il est alimenté à tension et fréquence assignées

Cette définition ne s'applique pas au cas des moteurs asynchrones dont le couple décroît continuellement lorsque la vitesse augmente.

3.16**couple de décrochage synchrone (d'un moteur)**

couple le plus élevé que développe un moteur synchrone à sa température de fonctionnement et à la vitesse de synchronisme, à tension, fréquence et excitation assignées

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

[VEI 411-44-01]

3.18**fluide de refroidissement**

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

[VEI 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

[VEI 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

[VEI 411-44-04]

3.21**enroulement à refroidissement direct (refroidissement interne)¹**

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

[VEI 411-44-08]

3.22**enroulement à refroidissement indirect¹**

tout enroulement autre qu'un enroulement à refroidissement direct

[VEI 411-44-09]

¹ Dans tous les cas où «indirect» ou «direct» n'est pas indiqué, il s'agit d'un enroulement à refroidissement indirect.

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 2 K par heure

[VEI 411-51-08]

NOTE On peut déterminer l'équilibre thermique 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 raisonnables successifs ont une pente de moins de 2 K par heure.

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

[VEI 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 $I_{\text{eff,maxN}}$ à sa valeur moyenne I_{moyN} (valeur moyenne intégrée sur une période) aux conditions assignées:

$$k_{fN} = \frac{I_{\text{eff,maxN}}}{I_{\text{moyN}}}$$

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_{moy} (valeur moyenne intégrée sur une période):

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

NOTE Pour de faibles valeurs d'ondulation du courant, le facteur d'ondulation peut être approché par la formule suivante:

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

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.

3.30**tolérance**

déviati on permise 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

[VEI 411-53-01]

NOTE L'essai type peut être aussi considéré comme valide s'il a été réalisé sur une machine ayant des déviati ons mineures en caractéristiques assignées ou autres. Il convient que ces déviati ons fassent l'objet d'un accord.

3.32**essai de routine**

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

[VEI 411-53-02]

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 qui est 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 au moment d'inertie du moteur (J_M) ni à l'espérance de vie thermique en valeur relative (TL), voir Annexe A. Ces valeurs sont fournies par le constructeur.

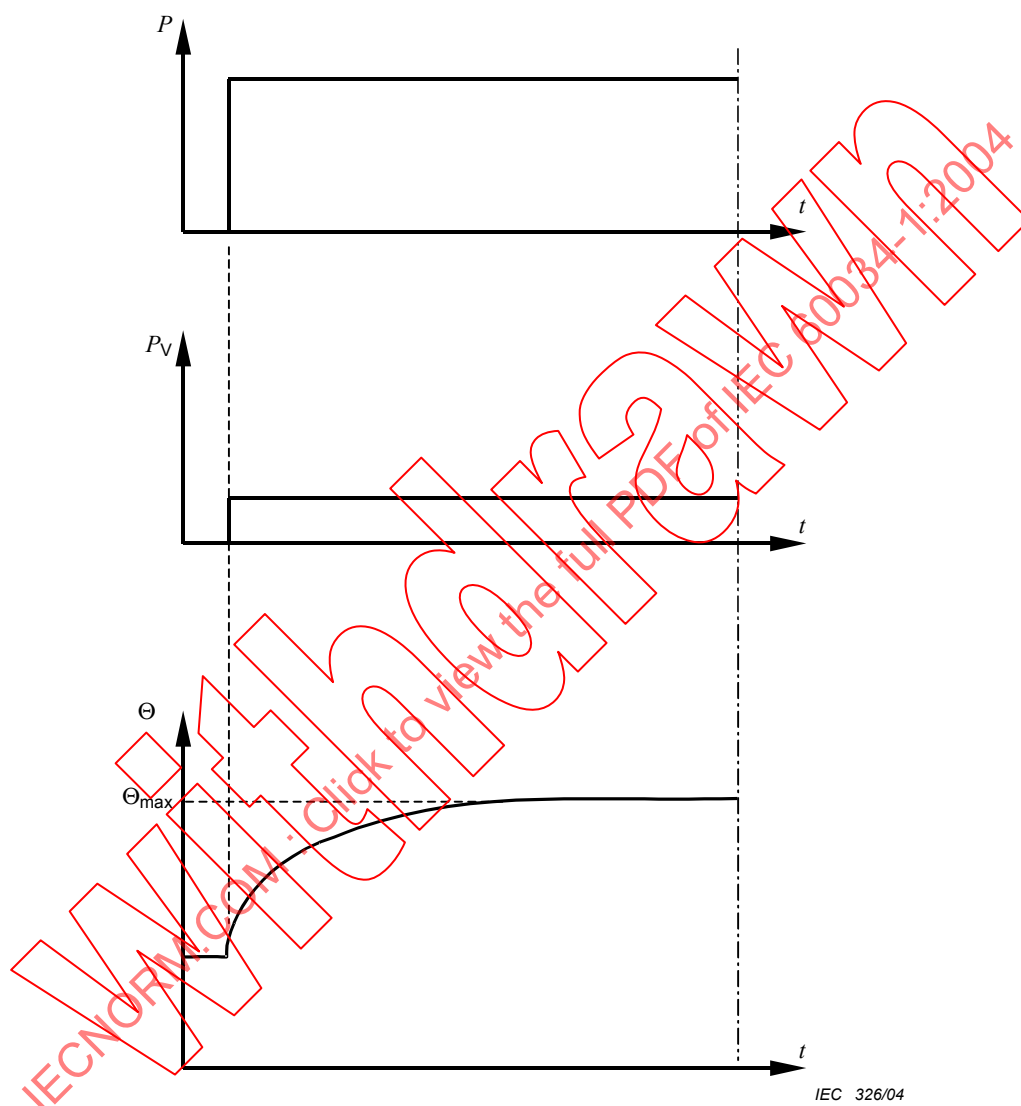
Lorsque l'acheteur ne stipule pas de service, le constructeur doit considérer que le service type S1 (service continu) est applicable.

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 Figure 1.

L'abréviation appropriée est S1.



Légende

P	charge
P_v	pertes électriques
Θ	température
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte
t	temps

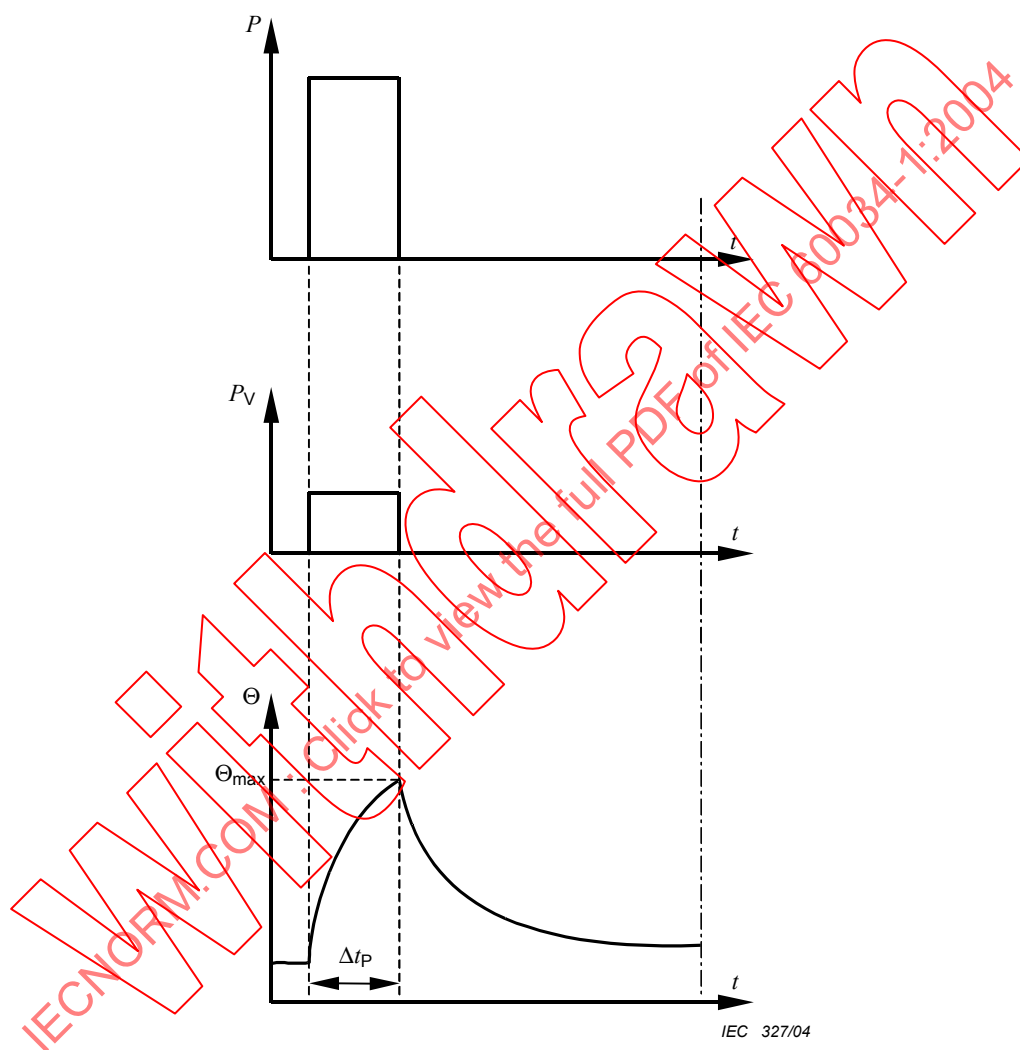
Figure 1 – Service continu – Service type S1

4.2.2 Service type S2 – Service temporaire

Fonctionnement à charge constante pendant un temps déterminé, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un temps de repos d'une durée suffisante pour rétablir à 2 K près l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement, voir 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
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte
t	temps
Δt_p	durée de fonctionnement à charge constante

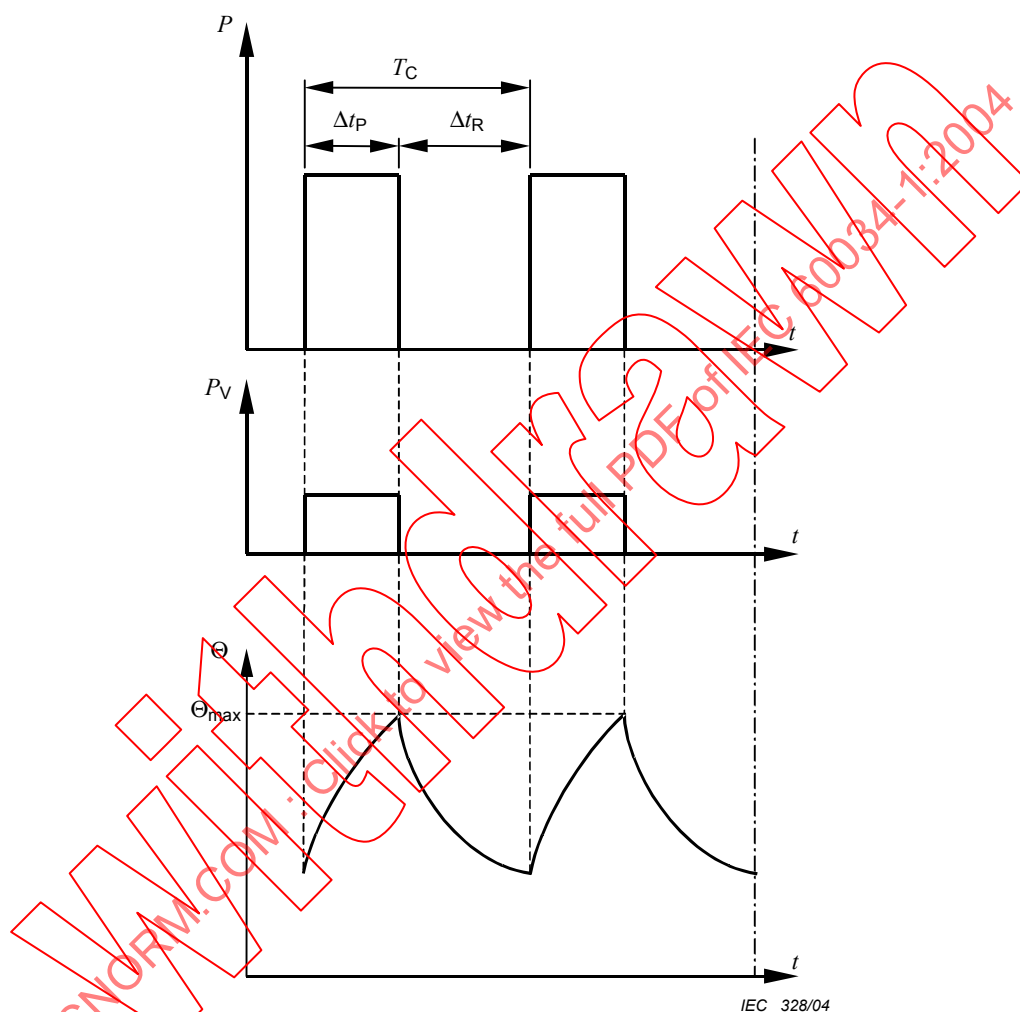
Figure 2 – Service temporaire – Service type S2

4.2.3 Service type S3 – Service intermittent périodique²

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de repos et non alimenté, voir 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
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte
t	temps
T_C	durée d'un cycle
Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante
Δt_R	durée au repos

$$\text{Facteur de marche} = \Delta t_P / T_C$$

Figure 3 – Service intermittent périodique – Service type S3

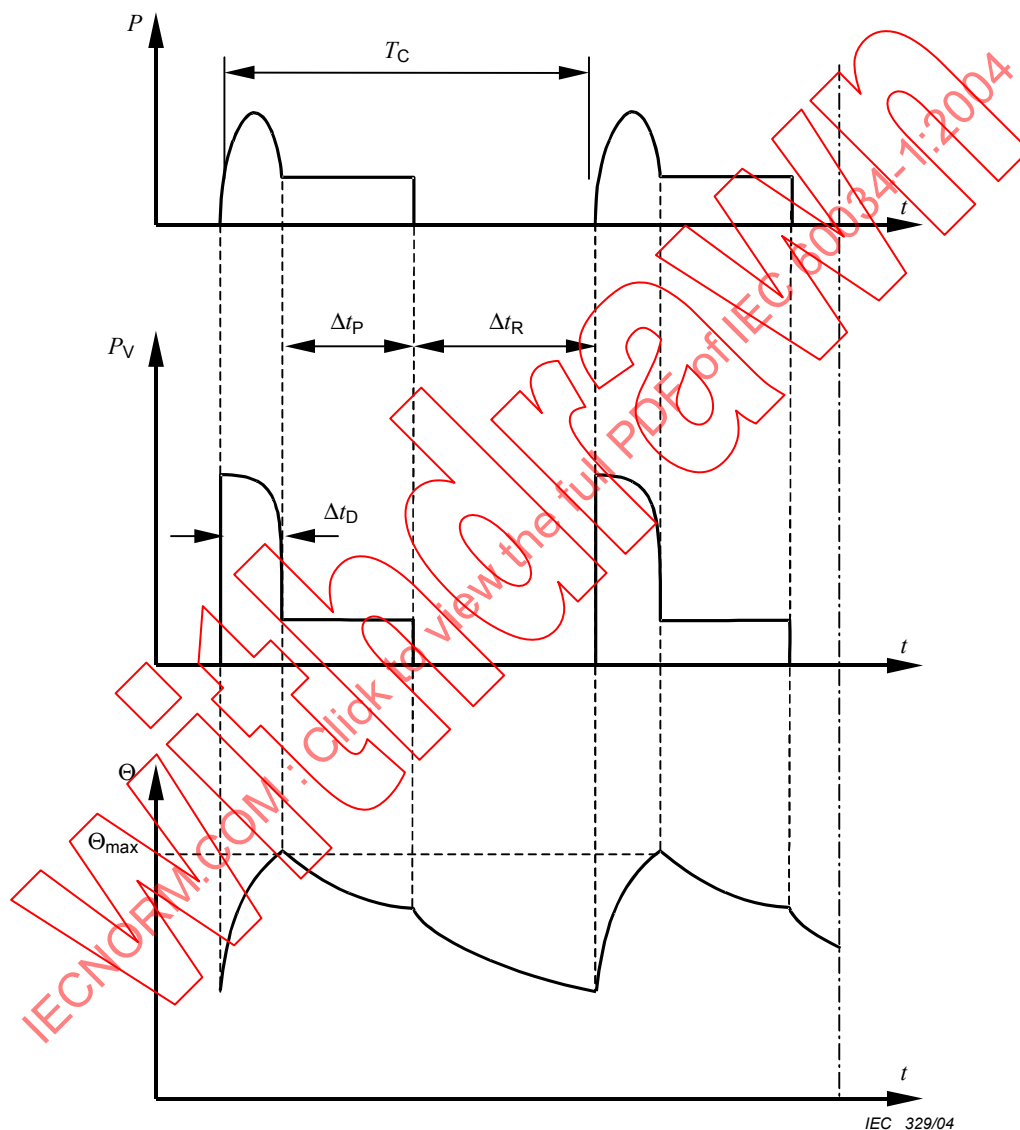
² Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

4.2.4 Service type S4 – Service intermittent périodique à démarrage²

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps non négligeable de démarrage, un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de repos et non alimenté, voir 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 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



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	durée au repos

Facteur de marche $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Figure 4 – Service intermittent périodique à démarrage – Service type S4

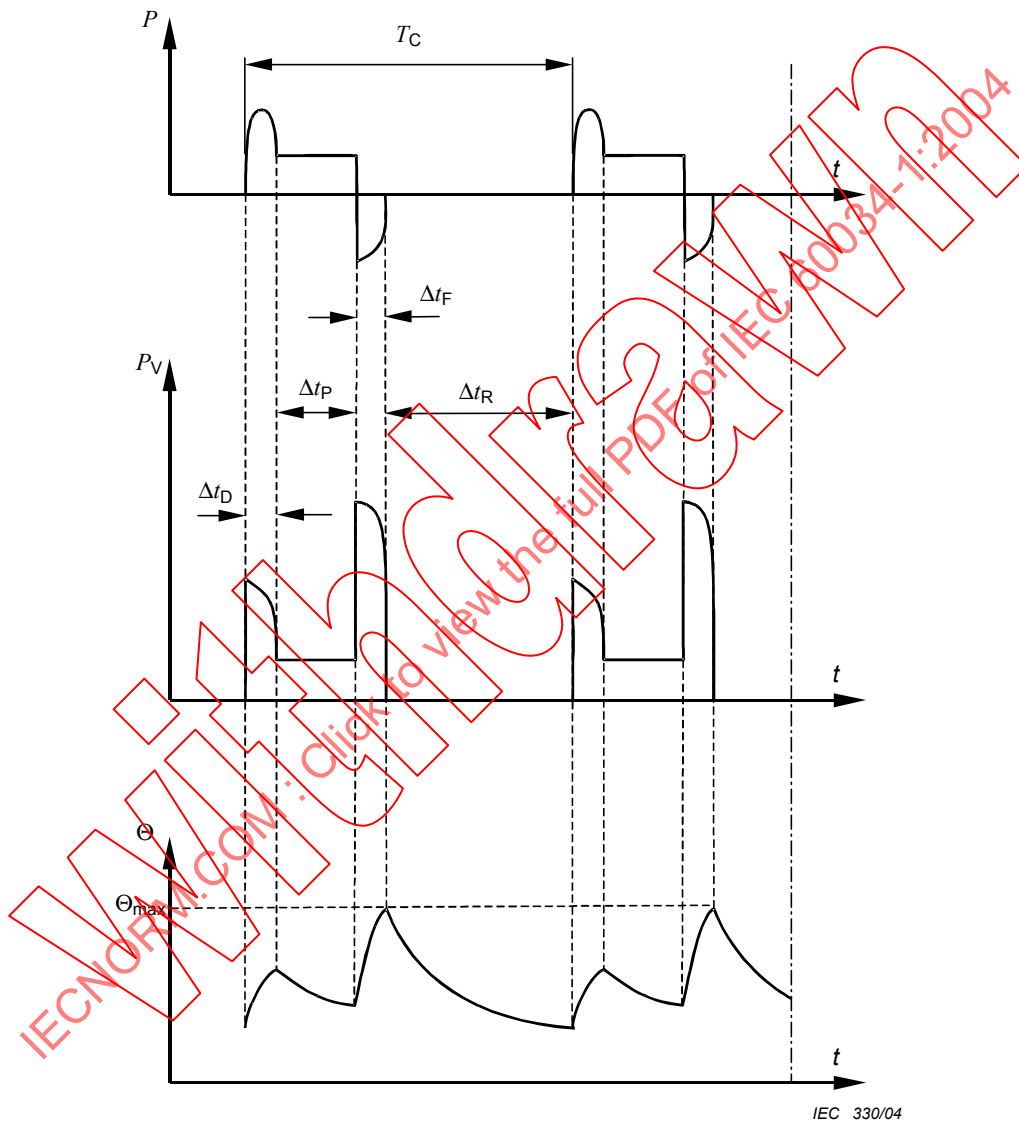
² Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

4.2.5 Service type S5 – Service intermittent périodique à freinage électrique²

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 et non alimenté, voir Figure 5.

L'abréviation appropriée est S5, suivie des valeurs du facteur de marche, 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	durée au 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

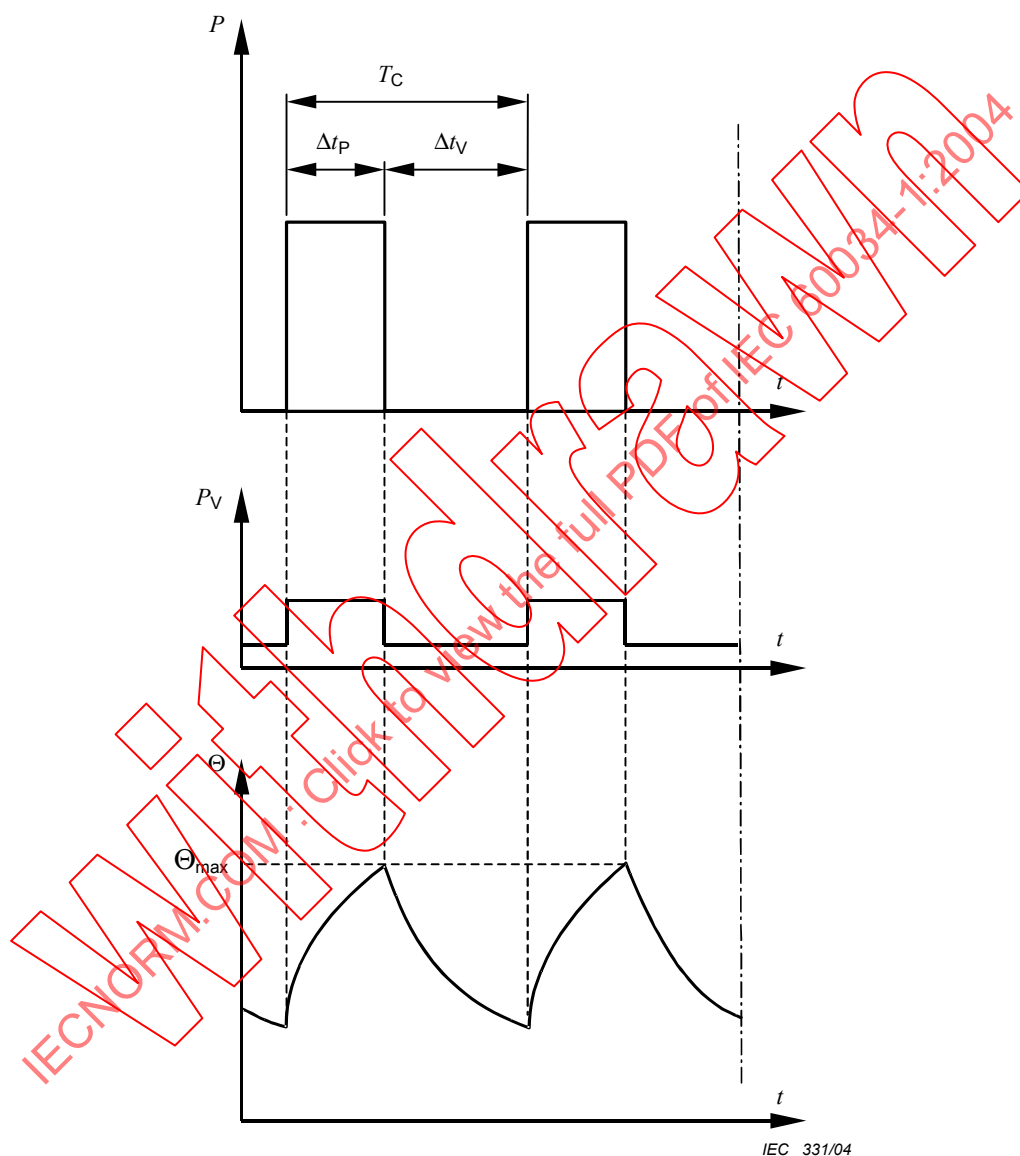
² Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

4.2.6 Service type S6 – Service ininterrompu périodique²

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 et non alimenté, voir 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
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte	Δt_V	durée de fonctionnement à vide
Facteur de marche $\Delta t_P / T_C$			

Figure 6 – Service ininterrompu périodique à charge intermittente – Service type S6

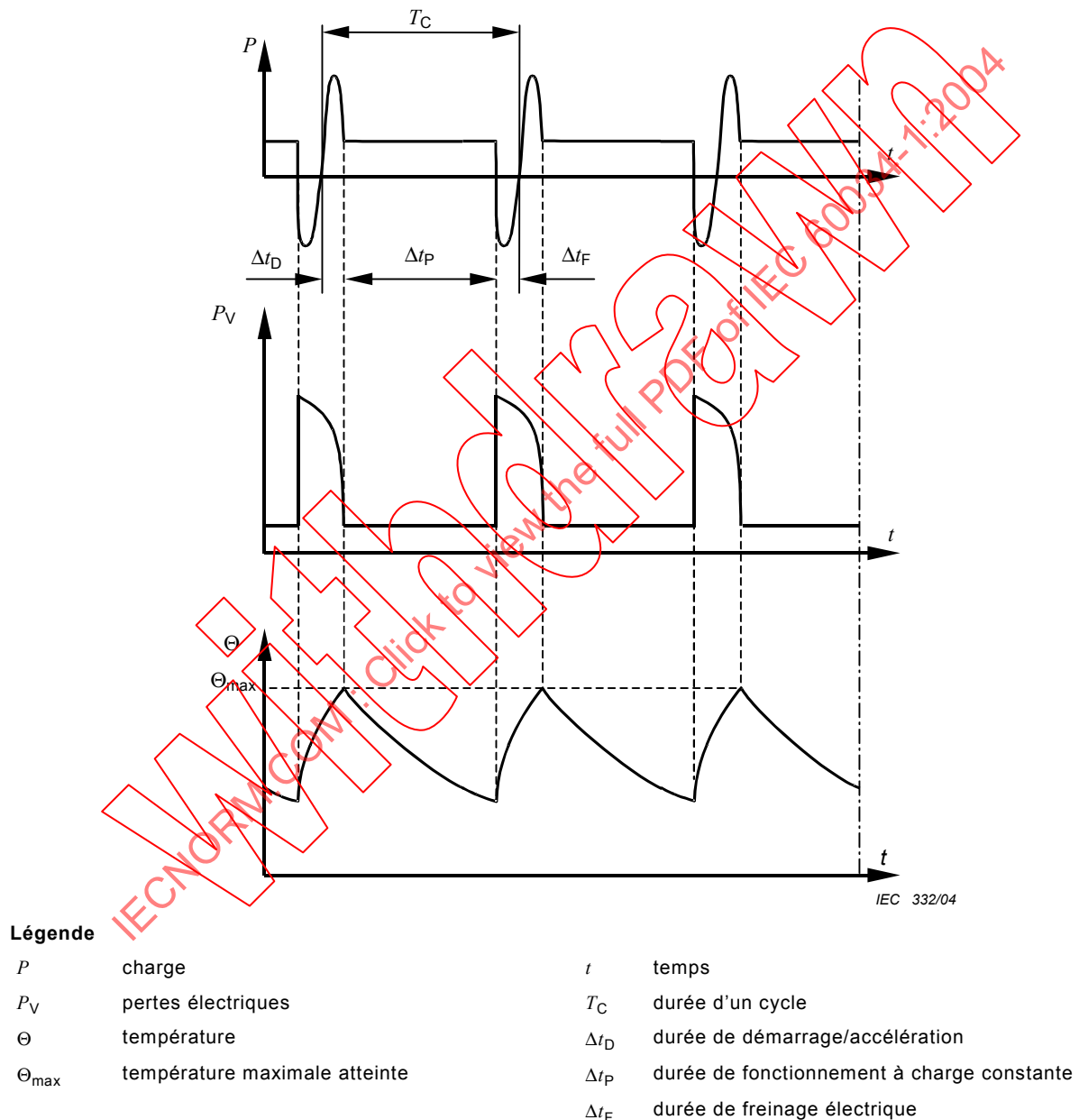
² Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

4.2.7 Service type S7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique ²

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 et non alimenté, voir 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 $J_M = 0,4 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Facteur de marche 1

Figure 7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7

² Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

4.2.8 Service type S8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse ²

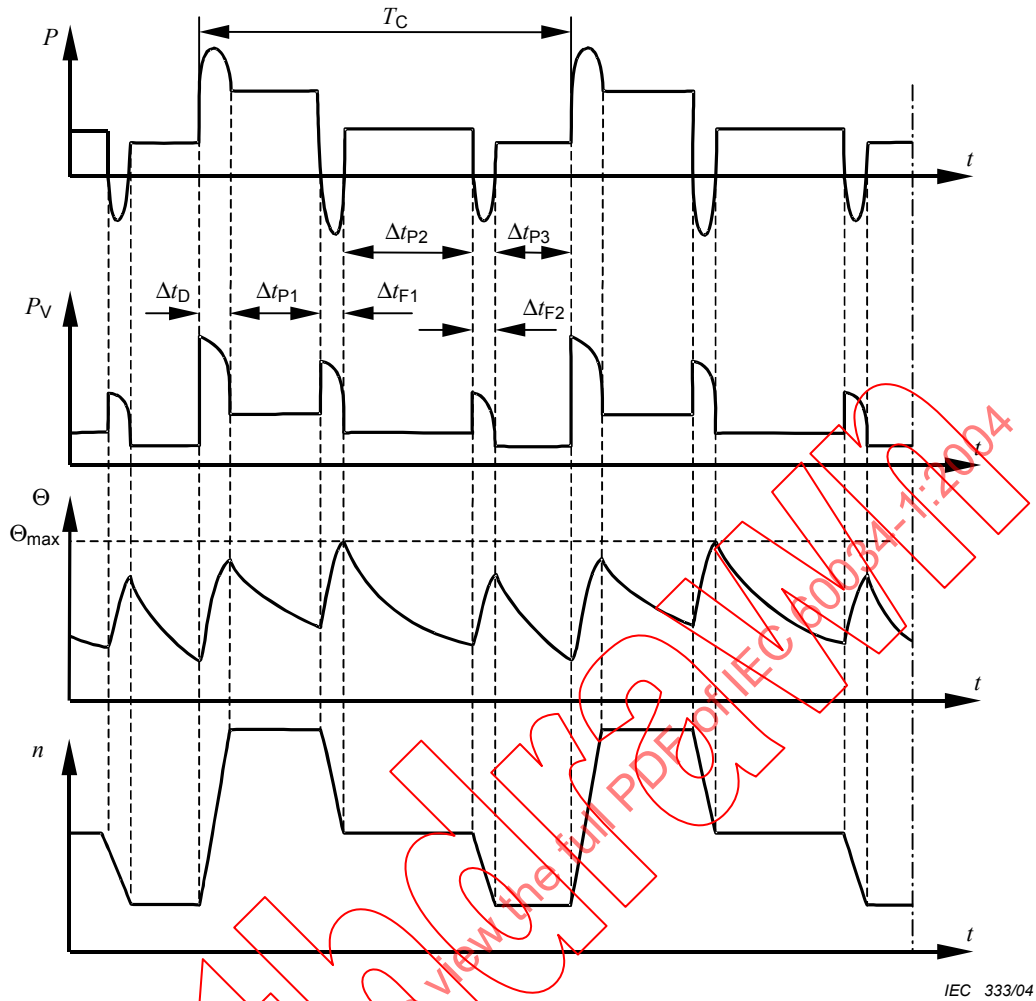
Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'un ou plusieurs temps de fonctionnement à d'autres charges constantes correspondant à différentes vitesses de rotation (réalisées par exemple par changement du nombre de pôles dans le cas des moteurs à induction). Il n'y a pas de temps de repos (voir 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 %

² Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.



IEC 333/04

Légende

P	charge	t	temps
P_V	pertes électriques	T_C	durée d'un cycle
Θ	température	Δt_D	durée de démarrage/accélération
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte	Δt_P	durée de fonctionnement à charge constante (P1, P2, P3)
n	vitesse	Δt_F	durée de freinage électrique (F1, F2)
Facteur de marche $(\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C$; $(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C$; $(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$			

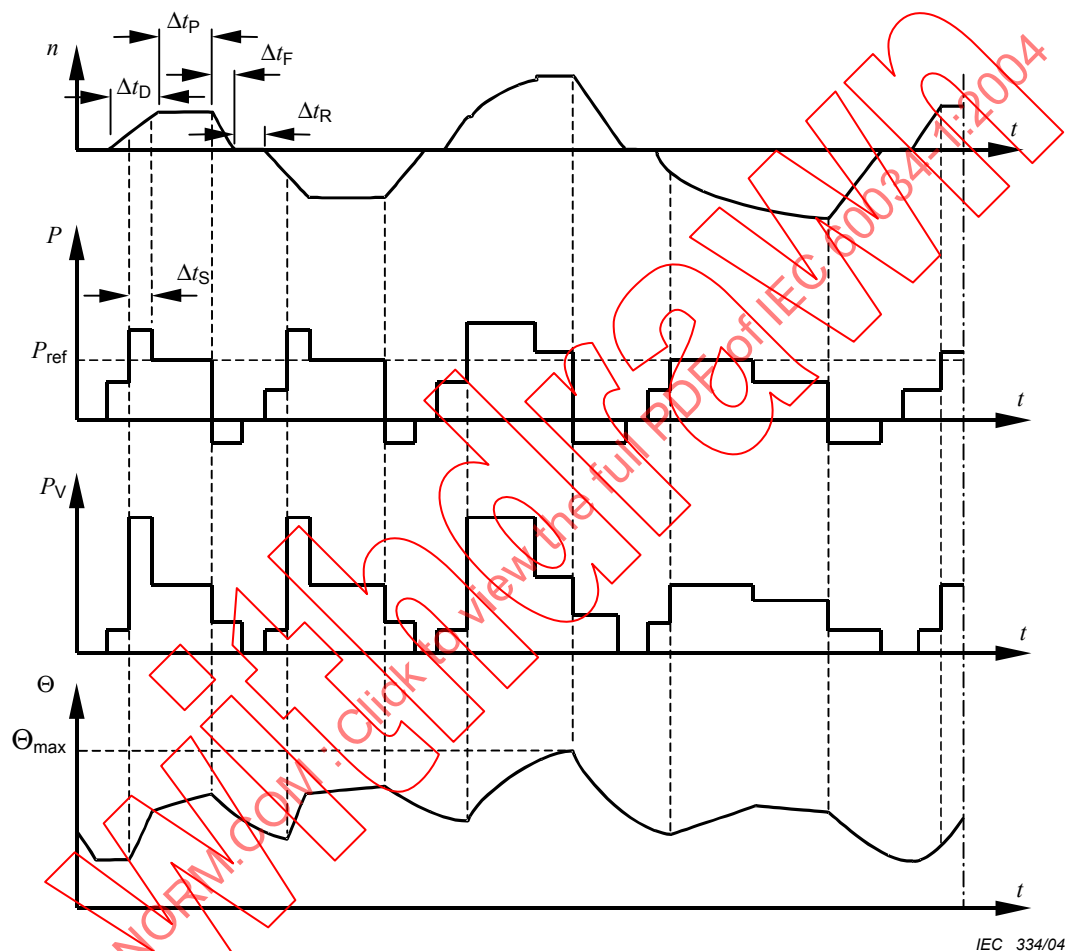
Figure 8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse – Service type S8

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 Figure 9).

L'abréviation appropriée est S9.

Pour ce service type, une charge constante, judicieusement choisie et basée sur le service type S1, est prise comme valeur de référence (« P_{ref} » dans la Figure 9) pour la notion de surcharge.



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	durée au repos
n	vitesse	Δt_S	durée de fonctionnement en surcharge

Figure 9 – Service à variations non périodique de charge et de vitesse – Service type S9

4.2.10 Service type S10 – Service avec charges et vitesses constantes distinctes

Service comprenant un nombre spécifique de valeurs distinctes de charge (ou charges équivalentes), et de vitesse si applicable, chaque combinaison charge/vitesse étant maintenue pendant une durée suffisante pour permettre à la machine d'atteindre l'équilibre thermique, voir Figure 10. La charge minimale pendant un cycle de service peut avoir la valeur zéro (fonctionnement à vide ou temps de repos et non alimenté).

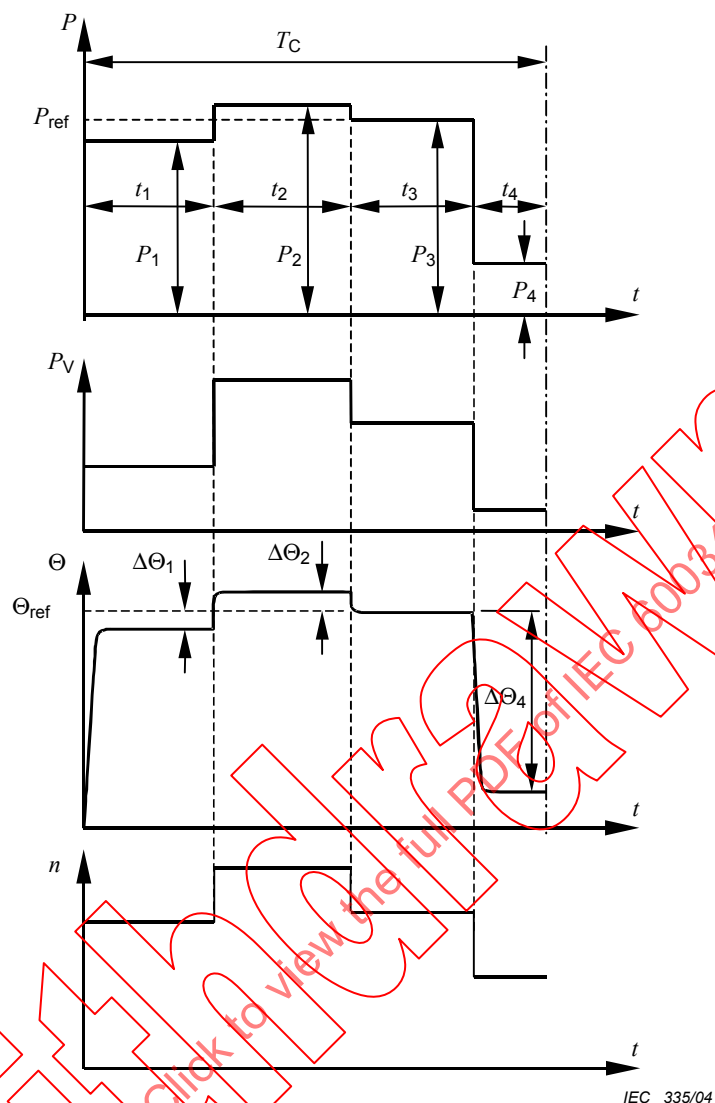
L'abréviation appropriée est S10, suivie des valeurs réduites (p.u.) $p/\Delta t$ pour les différentes charges et leurs durées respectives, et de la valeur réduite (p.u.) TL pour l'espérance de vie thermique relative du système d'isolation. La valeur de référence pour l'espérance de vie thermique est l'espérance de vie thermique aux caractéristiques assignées pour service continu et aux limites admissibles d'échauffement basées sur le service type S1. Pour un temps de repos et non alimenté, la charge doit être indiquée par la lettre r .

Exemple: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $TL = 0,6$

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 basée sur le service type S1, doit être prise comme valeur de référence (« P_{ref} » dans la Figure 10) pour les charges distinctes.

NOTE Les valeurs distinctes de charges seront 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 période 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.



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 basée 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 charges pendant un cycle et l'échauffement basé sur le service type S1 à la charge référence
Θ	température	n	vitesse
Θ_{ref}	température à la charge de référence basée sur le service type S1		

Figure 10 – Service avec charges constantes distinctes – 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 assignée. Si aucune désignation n'est stipulée, les caractéristiques assignées pour service continu sont applicables.

Quand des composants auxiliaires (tels que des inductances, des capacités, etc.) sont insérés par le fabricant en tant qu'éléments 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. La CEI 60034-17 donne des conseils pour le cas des moteurs à induction à cage couverts par la CEI 60034-12.

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 de la présente norme.

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 de la présente norme.

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 de la présente norme.

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 de la présente norme.

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 distinctes

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 de la présente norme. 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 paliers en ce qui concerne la température, d'autres éléments en ce qui concerne la dilatation thermique. Sauf spécifications dans d'autres normes de la CEI, la charge maximale ne dépassera pas 1,15 fois la valeur de la charge basée 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 concernant l'application de cette classe de caractéristiques assignées sont données en Annexe A.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S10 et est désignée comme le service type S10.

NOTE D'autres normes appropriées de la CEI peuvent spécifier la charge maximale en termes de limitation de la température (ou d'échauffement) d'enroulement au lieu d'une valeur relative de la charge basée 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.

NOTE 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 est applicable 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 basées 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 et non alimentée, les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service périodique basées sur un service type périodique choisi parmi les services types S3 à S8, voir 4.2.3 à 4.2.8.

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner de façon non périodique à des charges variables à des vitesses variables, y compris à des surcharges, les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service non périodique basées sur le service type S9, voir 4.2.9.

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner à des charges constantes distinctes comprenant des temps de surcharge ou des temps de marche à vide (ou de repos) les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service avec charges constantes distinctes basées sur le service type S10, voir 4.2.10.

5.4 Attribution de la puissance à une classe de caractéristiques assignées

Dans la détermination des caractéristiques assignées:

Pour les services types S1 à S8, la ou les valeurs spécifiées des charges constantes doivent être les puissances assignées; voir 4.2.1 à 4.2.8.

Pour les services types S9 et S10, la valeur de référence de la charge basée sur le service type S1 doit être prise comme puissance assignée, voir 4.2.9 et 4.2.10.

5.5 Puissance assignée

5.5.1 Génératrices à courant continu

La puissance assignée est la puissance aux bornes; elle doit être exprimée en watts (W).

5.5.2 Alternateurs

La puissance assignée est la puissance électrique apparente aux bornes; 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 surexcité, sauf spécification contraire de l'acheteur.

5.5.3 Moteurs

La puissance assignée est la puissance mécanique disponible sur l'arbre; elle doit être exprimée en watts (W).

NOTE Il est d'usage dans de nombreux pays d'exprimer aussi la puissance mécanique disponible sur l'arbre en chevaux (1 h.p. est équivalent à 745,7 W; 1 ch est équivalent à 736 W).

5.5.4 Compensateurs synchrones

La puissance assignée est la puissance réactive aux bornes; elle doit être exprimée en voltampères réactifs (var) en régime sous-excité et en régime 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 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 assignée et le facteur de puissance assigné doivent, sauf spécification contraire, être applicables à toute tension de la plage (voir également 7.3).

5.7 Coordination des tensions et des puissances

En pratique on ne construit pas des machines de toutes caractéristiques assignées pour toutes les tensions assignées. En général, pour les machines à courant alternatif, en se basant sur des considérations de conception et de fabrication, les tensions assignées préférables supérieures à 1 kV sont indiquées dans le Tableau 1, en fonction des puissances assignées.

Tableau 1 – Tensions assignées préférables

Tension assignée kV	Puissance 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 à plus d'un ensemble de caractéristiques assignées

Pour les machines prévues pour plus d'un ensemble de caractéristiques assignées, la machine doit être conforme, à tous points de vue, à la présente norme pour chaque ensemble de caractéristiques assignées.

Pour les moteurs à plusieurs vitesses, des caractéristiques assignées doivent être attribuées pour chaque vitesse.

Quand une grandeur assignée (puissance, tension, vitesse, etc.) peut avoir plusieurs valeurs ou varier constamment entre deux limites, les caractéristiques assignées doivent être attribuées 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 spécifications contraires, les machines doivent être appropriées aux conditions de fonctionnement sur site données ci-dessous. Pour des conditions de fonctionnement sur site différentes de ces valeurs, des corrections sont données dans l'Article 8.

6.2 Altitude

L'altitude ne doit pas dépasser 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

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

La température de l'air ambiant ne doit pas être inférieure à –15 °C, quelle que soit la machine.

La température de l'air ambiant ne doit pas être inférieure à 0 °C pour une machine avec:

- a) une puissance assignée supérieure à 3 300 kW (ou kVA) par 1 000 min⁻¹;
- b) une puissance assignée inférieure à 600 W (ou VA);
- c) un collecteur;
- d) un palier à coussinet;
- e) l'eau comme fluide de refroidissement primaire ou secondaire.

6.5 Température de l'eau de refroidissement

La température de l'eau de refroidissement à l'entrée d'une machine ou d'un échangeur de chaleur, ou celle de l'eau ambiante (dans le cas de machines submersibles avec un refroidissement par la paroi ou de machines avec refroidissement par eau de l'enveloppe) ne doit pas dépasser +25 °C ou être inférieure à +5 °C.

6.6 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, l'acheteur doit informer le constructeur et spécifier la température minimale prévue.

6.7 Pureté de l'hydrogène de refroidissement

Les machines refroidies à l'hydrogène doivent être capables de fonctionner à la puissance assignée dans les conditions assignées avec un fluide de refroidissement contenant au moins 95 % d'hydrogène en volume.

NOTE Pour des raisons de sécurité, il convient que la teneur en hydrogène soit toujours maintenue à 90 % ou davantage, en admettant que l'autre gaz entrant dans le mélange soit de l'air.

Pour calculer le rendement conformément à la CEI 60034-2, 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 fluide refroidi, sauf accord contraire. Les pertes par ventilation doivent être calculées pour 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 déduites des tensions nominales données dans la CEI 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 moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs statiques, ces restrictions sur la tension, la fréquence et la forme d'onde ne sont pas applicables. Dans ce cas le choix des tensions assignées doit se faire par accord.

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 leur caractéristiques assignées le fonctionnement sur une alimentation à fréquence fixe, 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*) 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 concept N (voir la CEI 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 de la composante inverse et homopolaire se trouvent atteintes simultanément en service à la charge assignée, cela ne doit pas conduire à une température nuisible dans le moteur et il est recommandé que le dépassement d'échauffement qui en résulte par rapport aux limites spécifiées dans cette norme n'excède pas environ 10 K.

NOTE A 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 la CEI 60034-17 pour le cas des moteurs à cage couverts par la CEI 60034-12.

NOTE Si la tension d'alimentation est notablement non sinusoïdale, par exemple dans le cas d'alimentation par convertisseur statique, la valeur efficace de la forme d'onde totale et celle de l'onde fondamentale sont toutes deux appropriées lors de 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 facteur de courant harmonique (*HCF*) 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 nuisible dans l'alternateur et il est recommandé que le dépassement d'échauffement qui en résulte par rapport aux limites spécifiées dans cette norme 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 tel que, aucun des courants de phase ne dépassant 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 du Tableau 2, et de 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 machine	Valeur maximale I_2/I_N pour un fonctionnement permanent	Valeur maximale $(I_2/I_N)^2 \times t$ en secondes pour fonctionnement en régime de défaut
Machines à pôles saillants			
1	Enroulements à refroidissement indirect		
	moteurs	0,1	20
	génératrices	0,08	20
	compensateurs synchrones	0,1	20
2	Enroulements à refroidissement direct (refroidissement interne) au stator et/ou à l'inducteur		
	moteurs	0,08	15
	génératrices	0,05	15
	compensateurs synchrones	0,08	15
Machines synchrones à rotor lisse			
3	Enroulements rotor à refroidissement indirect		
	par air	0,1	15
	par hydrogène	0,1	10
4	Enroulements rotor à refroidissement direct (refroidissement interne)		
	≤ 350 MVA	0,08	8
	$>350 \leq 900$ MVA	Voir note 1	Voir note 2
	$>900 \leq 1\,250$ MVA	Voir note 1	5
	$>1\,250 \leq 1\,600$ MVA	0,05	5
NOTE 1 Pour ces machines, la valeur I_2/I_N est calculée comme suit: $\frac{I_2}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$ NOTE 2 Pour ces machines, la valeur $(I_2/I_N)^2 \times t$, en secondes, est calculée comme suit: $(I_2/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005\,45 (S_N - 350)$ où (dans les deux notes) S_N est la puissance apparente assignée en mégavoltampères MVA.			

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 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 de connexion du convertisseur conformément à la CEI 60971;

U_{aN} est constitué de trois ou quatre chiffres indiquant la valeur assignée de la tension alternative aux bornes d'entrée du convertisseur, en volts;

f est constitué de deux chiffres indiquant la fréquence assignée aux bornes d'entrée, en hertz;

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 millihenrys. Si cette valeur est égale à zéro, elle est omise.

Les moteurs de puissance assignée inférieure à 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, pourvu 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 présumée être assez faible pour qu'il en résulte un facteur d'ondulation du courant inférieur à 0,1 aux conditions assignées.

7.3 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 fixe, 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 et les compensateurs synchrones et à la Figure 12 pour les moteurs.

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 comme spécifié au Tableau 3 de façon continue à l'intérieur de la zone A, mais peut ne pas satisfaire complètement à ses caractéristiques de fonctionnement à tension et fréquence assignées (voir le point des caractéristiques assignées sur les Figures 11 et 12), et 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.

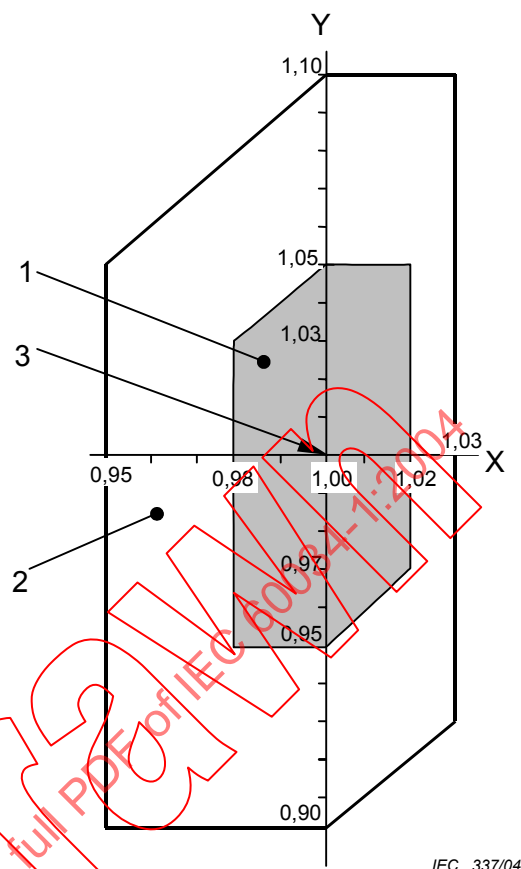
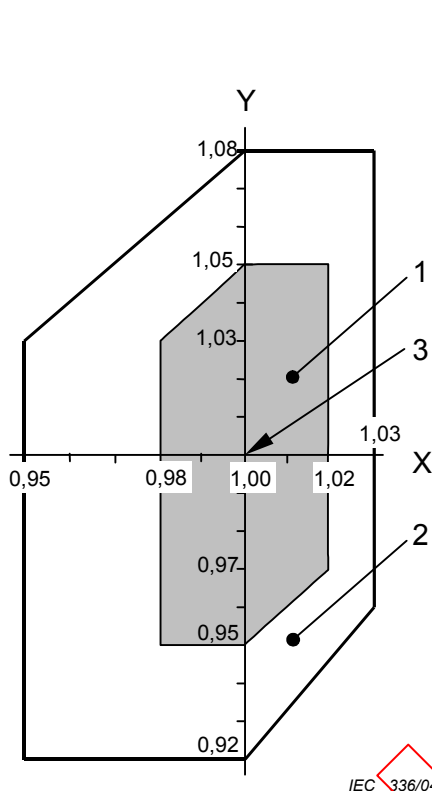
NOTE 1 Dans des applications et conditions de fonctionnement pratiques, une machine sera parfois sollicitée pour fonctionner à l'extérieur du périmètre de la zone A. Il est recommandé de limiter de tels écarts en valeur, durée et fréquence d'apparition. Si possible, il convient de prendre des mesures correctives dans un délai raisonnable, par exemple une réduction de puissance. De telles interventions peuvent éviter une réduction de la durée de vie de la machine due aux effets de la température.

NOTE 2 Les limites d'échauffement ou les limites de température conformes à la présente norme 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 la présente norme.

NOTE 3 Un moteur à courant alternatif ne démarrera à la limite inférieure de tension que si son couple de démarrage est approprié au couple résistant de la charge, mais cela ne constitue pas une exigence du présent article. Pour les caractéristiques de démarrage des moteurs de conception N, voir la CEI 60034-12.

Tableau 3 – Fonctions principales des machines

Point	Type de machine	Fonction principale
1	Alternateur, en excluant le point 5	Puissance assignée apparente (kVA), au facteur de puissance assigné s'il est à commande séparée
2	Moteur à courant alternatif, en excluant les points 3 et 5	Couple assigné (Nm)
3	Moteur synchrone, en excluant le point 5	Couple assigné (Nm) avec l'excitation maintenant soit le courant d'excitation assigné, soit le facteur de puissance assigné, lorsque celui-ci peut être commandé séparément
4	Compensateur synchrone, en excluant le point 5	Puissance apparente assignée (kVA) à l'intérieur de la zone applicable à une génératrice sauf accord contraire, voir Figure 11
5	Turbo-alternateur de puissance assignée égale ou supérieure à 10 MVA	Voir la CEI 60034-3
6	Génératrice à courant continu	Puissance assignée (kW)
7	Moteur à courant continu	Couple assigné (Nm) avec l'excitation d'un moteur shunt maintenant une vitesse assignée, lorsque celle-ci peut-être commandée séparément



Légende

axe X fréquence p.u.
axe Y tension p.u.

- 1 zone A
- 2 zone B (extérieure à zone A)
- 3 point des caractéristiques assignées

Figure 11 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les alternateurs

Figure 12 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les moteurs

7.4 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, il est indispensable de prévoir une machine spéciale avec le niveau d'isolement approprié.

Si les enroulements n'ont pas une isolation identique côté phase et côté neutre, cela doit être spécifié par le constructeur.

NOTE Il convient que la mise à la terre ou l'interconnexion des points neutres de machines ne soit jamais effectuée sans consultation des constructeurs des machines, à cause 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.

7.5 Niveaux de tenue en tension (crête et gradient)

Pour les moteurs à courant alternatif, le fabricant doit spécifier une valeur limite pour les crêtes de tension et les gradients de tension, en fonctionnement permanent.

Pour les moteurs à induction à cage couverts par la CEI 60034-12, voir aussi la CEI 60034-17.

Pour les moteurs à courant alternatif à haute tension, voir aussi la CEI 60034-15.

8 Caractéristiques thermiques de fonctionnement et essais thermiques

8.1 Classification thermique

Une classification thermique conforme à la CEI 62114 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 la CEI 60034-18.

NOTE 1 Il est recommandé de ne pas présumer une relation directe entre la classification thermique d'un nouveau système d'isolation et l'aptitude thermique des différents matériaux qui le constituent.

NOTE 2 L'utilisation continue d'un système d'isolation existant est acceptable si ce dernier a été éprouvé par expérience confirmant son fonctionnement satisfaisant.

8.2 Fluide de refroidissement de référence

Le fluide de refroidissement de référence, pour une méthode donnée de refroidissement, est spécifié dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Fluide de refroidissement de référence (voir aussi le Tableau 10)

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	7	l'échauffement	Air ambiant
2	Air	Indirect	Air	7		Température de référence 40 °C
3	Air	Indirect	Eau	7		Fluide de refroidissement à l'entrée dans la machine ou eau ambiante
4	Hydrogène	Indirect	Eau	8		Température de référence du gaz de refroidissement à l'entrée de la machine: 40 °C Température de référence de l'eau ambiante: 25 °C (voir note)
5	Air	Direct	Aucun	12	la température	Air ambiant
6	Air	Direct	Air	12		Température de référence: 40 °C
7	Air	Direct	Eau	12		Gaz à l'entrée dans la machine ou liquide à l'entrée dans l'enroulement
8	Hydrogène ou liquide	Direct	Eau	12		Température de référence: 40 °C

NOTE 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 que celles d'une machine submersible avec refroidissement par surface ou refroidissement de l'enveloppe par eau soient attribuées en utilisant le fluide de refroidissement secondaire comme fluide 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 spécifié au Tableau 4.

NOTE La disposition et le refroidissement d'une machine peuvent être tels que plusieurs points du Tableau 4 sont applicables; en ce 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'un moteur 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.

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 essayée 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 11 (pour les enroulements à refroidissement indirect) ou le Tableau 14 (pour les enroulements à refroidissement direct).

8.3.4 Mesurage de la température du fluide de refroidissement au cours des essais

La valeur à adopter pour la température du fluide de refroidissement pendant un essai doit être la moyenne des lectures effectuées sur les détecteurs de température à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart d'heure de la durée de l'essai. Pour réduire les erreurs qui peuvent provenir de 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 ces variations.

8.3.4.1 Machines ouvertes ou 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 détecteurs de température répartis autour et à mi-hauteur de la machine, à une distance de 1 m à 2 m de celle-ci. Chaque détecteur doit être à l'abri de toute chaleur rayonnée et des courants d'air.

8.3.4.2 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.

8.3.4.3 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 Echauffement d'un élément de machine

L'échauffement d'un élément de machine, $\Delta\theta$, est la différence entre la température de cet élément, mesurée par la méthode appropriée, conformément à 8.5, et la température du fluide de refroidissement, mesurée conformément à 8.3.4.

Pour la comparaison avec les limites des échauffements (voir Tableau 7 ou 8) ou des températures (voir Tableau 12), lorsque cela est possible la température doit être mesurée immédiatement avant qu'on arrête la machine à la fin de l'essai thermique, comme cela est défini en 8.7.

Lorsque cela n'est pas possible, par exemple lors du mesurage direct par la méthode de variation de résistance, voir 8.6.2.3.

Pour les machines essayées à leur service périodique réel (services types S3 à S8) la température doit être prise comme étant celle au milieu de la période donnant le plus grand échauffement dans le dernier cycle de fonctionnement (mais voir aussi 8.7.3).

8.5 Méthodes de mesurage 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 pour un contrôle mutuel.

Pour les essais indirects voir la CEI 61986.

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 résistances, couples thermoélectriques ou thermistances à semi-conducteurs 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 à 8.5.1, doit être appliquée (mais voir aussi 8.6.2.3.3).

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif des machines de puissance assignée égale ou supérieure à 5 000 kW (ou kVA), la méthode par indicateurs internes de température (IIT) doit être appliquée.

Pour les machines à courant alternatif de puissance assignée inférieure à 5 000 kW (ou kVA) et 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, sauf accord contraire.

Pour les machines à courant alternatif de puissance 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 7, 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 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 ne doit pas être utilisée pour vérifier la conformité à la présente norme: la méthode par variation de résistance doit être appliquée.

NOTE 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 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 surveillance en fonctionnement. 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 à la présente norme.

Pour les enroulements d'induits à collecteurs et pour les enroulements d'excitation, la méthode par variation de résistance et la méthode par thermomètre sont admises. La méthode préférée est la méthode par variation de résistance, mais pour les enroulements d'excitation fixes des machines à courant continu à plus d'une couche, la méthode par indicateurs internes de température peut être utilisée.

8.6.2 Détermination par la méthode par variation de résistance

8.6.2.1 Mesurage

L'une des méthodes suivantes doit être utilisée.

- Mesurage direct, au début et à la fin de l'essai, en utilisant un instrument ayant une gamme appropriée.
- Pour enroulements à courant continu: en mesurant le courant dans l'enroulement et la tension à ses bornes, utilisant des instruments aux gammes appropriées.
- Pour enroulements à courant alternatif: en injectant du courant continu dans l'enroulement, en l'absence de tension alternative.
- Sans interruption du courant alternatif de charge, en superposant au courant de charge un courant continu de mesure de faible intensité, selon la CEI 60279.

8.6.2.2 Calcul

L'échauffement $\theta_2 - \theta_a$, peut être obtenu à partir de l'équation:

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

où

θ_1 est la température (°C) de l'enroulement (froid) au moment de la mesure de la résistance initiale;

θ_2 est la température (°C) de l'enroulement à la fin de l'essai;

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 est 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 des mesures relevées après arrêt de la machine

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 nécessaires.

8.6.2.3.2 Arrêt de la machine en un temps court

Si la lecture initiale par variation de résistance est obtenue dans le délai indiqué au Tableau 5, cette lecture doit être adoptée pour la mesure de la température.

Tableau 5 – Délai

Puissance assignée (P_N) kW ou kVA	Délai après la coupure s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	Sur accord

8.6.2.3.3 Arrêt de la machine en un temps prolongé

Si la lecture par variation de résistance ne peut être effectuée dans le délai spécifié au Tableau 5, elle doit être faite le plus tôt possible mais dans un délai non supérieur à deux fois celui spécifié au Tableau 5, et des lectures supplémentaires doivent être effectuées à des intervalles d'environ 1 min, jusqu'au moment où ces lectures commencent à montrer une diminution sensible de leurs valeurs maximales. Une courbe de ces lectures doit être tracée en fonction du temps et extrapolée à un intervalle de temps approprié selon le Tableau 5 pour la puissance assignée de la machine. Il est recommandé de tracer une courbe semi-logarithmique, où la température figure sur l'ordonnée logarithmique. La valeur de la température ainsi obtenue doit être considérée comme la température au moment de l'arrêt de la machine. Si des mesures consécutives montrent une augmentation des températures après l'arrêt, la valeur la plus élevée doit être prise.

Si la lecture initiale par variation de résistance ne peut être effectuée qu'après un délai égal à deux fois le délai spécifié au Tableau 5, 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 5. S'il faut à la machine plus de 90 s pour arriver à l'arrêt après la coupure, la méthode par superposition 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 convenablement répartis dans l'enroulement de la machine, et le nombre des indicateurs installés ne doit pas être inférieur à six.

On doit s'efforcer, dans toute la mesure compatible avec la sécurité, de 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.

La lecture la plus élevée des éléments IIT doit être utilisée pour déterminer la température de l'enroulement.

NOTE Les éléments IIT ou leurs connexions peuvent présenter un défaut et donner des lectures incorrectes. En conséquence, si une ou plusieurs lectures s'avèrent, après analyse, être erratiques, il convient de les éliminer.

8.6.3.2 Deux faisceaux par encoche ou plus

Les indicateurs de température 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 d'enroulement, aux endroits présumés les plus chauds; voir 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; voir 8.6.1.

8.6.4 Détermination par la méthode du thermomètre

On doit s'efforcer, autant que cela est compatible avec la sécurité, de placer les thermomètres aux points présumés les plus chauds (par exemple dans les développantes à proximité du circuit magnétique) 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, la lecture la plus élevée doit être prise 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 en est que la droite reliant les points correspondants de deux cycles de charge successifs sur un diagramme de température doit avoir une pente inférieure à 2 K par heure. Si nécessaire, il faut effectuer des mesures à intervalles raisonnables pendant un certain laps de temps.

8.7.4 Caractéristiques assignées pour service non périodique et caractéristiques assignées pour service avec charges constantes distinctes

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 condition normale de fonctionnement) appropriée pour la détermination approchée de l'évolution de la température peut être déterminée à partir de la courbe de refroidissement tracée conformément à 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 paliers

L'une ou l'autre des méthodes par thermomètre ou par indicateur interne de température (IIT) est admise.

Le point de mesure doit être placé aussi près que possible de l'un des deux emplacements spécifiés au Tableau 6.

Tableau 6 – Points de mesure

Type de palier	Point de mesure	Emplacement du point de mesure
A roulement à billes ou à rouleaux	A	Dans le logement du roulement et à une distance ¹⁾ de la bague extérieure du roulement ne dépassant pas 10 mm ²⁾
	B	Surface extérieure du logement du roulement le plus près possible de la bague extérieure du roulement
A coussinet	A	Dans la zone de pression de la coquille du coussinet ³⁾ et à une distance ¹⁾ du film d'huile ne dépassant pas 10 mm ²⁾
	B	A un autre endroit de la coquille du coussinet
¹⁾ La distance est mesurée à partir du point le plus proche de l'indicateur interne ou du thermomètre. ²⁾ 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. ³⁾ 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.		

Il faut minimiser la résistance thermique entre l'indicateur interne de température et l'objet dont on mesure la température, 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 palier, il existe des différences de température qui dépendent, entre autres, de la dimension du palier. Pour les paliers à coussinets cylindriques emmanchés en force et pour les paliers à roulements à bille ou à rouleaux d'un diamètre intérieur inférieur ou égal à 150 mm, les différences de température qui se produisent entre les points de mesure A et B peuvent être présumées négligeables. Dans le cas des paliers 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

Des limites sont données pour marche aux conditions de fonctionnement sur site, définies 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.

Les limites sont stipulées par rapport au fluide de refroidissement de référence défini au Tableau 4.

Une règle est donnée pour tenir compte de la pureté d'hydrogène.