

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles –
Part 4: Permanent magnet synchronous electrical machines connected to an
electronic converter**

**Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires
et routiers –
Partie 4: Machines électriques synchrones à aimants permanents connectées à
un convertisseur électronique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-4:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

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.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles –
Part 4: Permanent magnet synchronous electrical machines connected to an
electronic converter**

**Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires
et routiers –
Partie 4: Machines électriques synchrones à aimants permanents connectées à
un convertisseur électronique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 45.060

ISBN 978-2-83220-547-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope and object.....	6
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	7
4 Environmental conditions	10
5 Characteristics.....	10
5.1 Exchange of information	10
5.2 Special characteristic of a driven permanent magnet machine.....	11
5.3 Reference temperature	11
5.4 Specified characteristics	11
5.5 Declared characteristics	11
5.6 Efficiency characteristics	11
5.7 Traction motor characteristics	11
5.8 Main generator characteristics	12
5.9 Auxiliary motor characteristics	12
5.10 Auxiliary generator characteristics.....	12
6 Marking	13
6.1 Nameplate.....	13
6.2 Terminal and lead marking.....	13
7 Test categories.....	13
7.1 General	13
7.2 Type tests.....	13
7.2.1 General	13
7.2.2 Type tests on converter supply.....	14
7.3 Reduced type test.....	14
7.3.1 General	14
7.3.2 Repeat the type test temperature rise test with converter.....	14
7.3.3 Repeat a temperature rise test with converter with different load	14
7.3.4 Repeat a temperature rise test with sinusoidal supply.....	14
7.3.5 Repeat a temperature rise test in generating mode with a passive load.....	15
7.4 Routine tests	15
7.5 Investigation tests.....	15
7.6 Summary of tests.....	15
8 Type tests.....	16
8.1 Temperature-rise tests.....	16
8.1.1 General	16
8.1.2 Cooling during rating tests	16
8.1.3 Measurement of temperature	16
8.1.4 Judgement of results.....	16
8.1.5 Limits of temperature rise	16
8.1.6 Short-time overload test.....	17
8.2 Characteristic tests and tolerances	17
8.2.1 General	17
8.2.2 Tolerances.....	18
8.3 Overspeed test	19

8.4	Vibration tests	19
8.5	Noise measurements (optional).....	19
9	Routine tests	20
9.1	General	20
9.2	Characteristic tests and tolerances	20
9.2.1	General	20
9.2.2	No-load tests	20
9.2.3	Current-load tests	21
9.3	Overspeed tests	22
9.4	Dielectric tests	23
9.5	Vibration tests (imbalance)	24
10	Investigation tests	24
10.1	Measurement of cogging torque	24
10.2	Temperature rise test of the machine in high speed with open terminals	24
10.3	Temperature coefficient measurement of the induced voltage	24
Annex A (normative)	Measurement of temperature	25
Annex B (normative)	Conventional values of traction motor transmission losses	28
Annex C (informative)	Noise measurement and limits	29
Annex D (normative)	Supply voltages of traction systems	38
Annex E (normative)	Agreement between user and manufacturer	39
Bibliography		40
Figure 1	– Inherent characteristic generator.....	18
Figure 2	– Open terminal	20
Figure 3	– Sinusoidal supply.....	21
Figure 4	– Converter supply	21
Figure 5	– Converter supply with cut off.....	21
Figure 6	– Short-circuit.....	22
Figure 7	– Sinusoidal supply.....	22
Figure 8	– Converter supply	22
Figure B.1	– Conventional values of traction motor transmission losses	28
Figure C.1	– Limiting mean sound power level for airborne noise emitted by traction machines	35
Figure C.2	– Location of measuring points and prescribed paths for horizontal machines	36
Figure C.3	– Location of measuring points and prescribed paths for vertical machines	37
Table 1	– Summary of tests.....	15
Table 2	– Limits of temperature rise for continuous and other ratings.....	17
Table 3	– Dielectric test voltages	23
Table C.1	– Corrections	31
Table C.2	– Corrections	34
Table C.3	– Correction for pure tones	35

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRIC TRACTION – ROTATING ELECTRICAL MACHINES FOR RAIL AND ROAD VEHICLES –

Part 4: Permanent magnet synchronous electrical machines connected to an electronic converter

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This International Standard IEC 60349-4 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This standard is derived from IEC 60349-2 changing the subject to permanent magnet synchronous machines.

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

FDIS	Report on voting
9/1734/FDIS	9/1759/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.

A list of all parts of IEC 60349 series, under the general title *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-4:2012

ELECTRIC TRACTION – ROTATING ELECTRICAL MACHINES FOR RAIL AND ROAD VEHICLES –

Part 4: Permanent magnet synchronous electrical machines connected to an electronic converter

1 Scope and object

This part of IEC 60349 applies to converter-fed permanent magnet synchronous motors or generators (machines) forming part of the equipment of electrically propelled rail and road vehicles.

This standard is derived from IEC 60349-2 changing the subject to permanent magnet synchronous machines.

The object of this part is to enable the performance of a machine to be confirmed by tests and to provide a basis for assessment of its suitability for a specified duty and for comparison with other machines.

Where further testing is to be undertaken in accordance with a combined test, it may be preferable, that some type and investigation tests be carried out on the combined test bed, to avoid duplication.

Particular attention is drawn to the need for collaboration between the designers of the machine and its associated converter as detailed in 5.1.

NOTE 1 This part also applies to machines installed on trailers hauled by powered vehicles.

NOTE 2 The basic requirements of this part may be applied to machines for special purpose vehicles such as mine locomotives but this part does not cover flameproof or other special features that may be required.

NOTE 3 It is not intended that this part should apply to machines on small road vehicles, such as battery-fed delivery vehicles, factory trucks, etc. This part also does not apply to minor machines such as windscreen wiper motors, etc. that may be used on all types of vehicles.

NOTE 4 Industrial type machines complying with IEC 60034 may be suitable for some auxiliary drives, provided that it is demonstrated that operation on a converter supply will meet the requirements of the particular application.

The electrical input to motors covered by this part is be from an electronic converter. Generators may be connected to a rectifier or a converter.

The machines covered by this part are classified as follows:

- a) Traction motors
Motors for propelling rail or road vehicles.
- b) Main generators
Generators for supplying power to traction motors on the same vehicle or train.
- c) Auxiliary motors not covered by IEC 60034
Motors for driving compressors, fans, auxiliary generators or other auxiliary machines.
- d) Auxiliary generators not covered by IEC 60034
Generators for supplying power for auxiliary services such as air conditioning, heating, lighting and battery charging, etc.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

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

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

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

IEC 60050-131, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 131: Circuit theory*

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 221: Magnetic materials and components*

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

IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 811: Electric traction*

IEC 60085, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 60850, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 62498-1, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document the terms and definitions given in IEC 60050-131, IEC 60050-151, IEC 60050-221, IEC 60050-411, and IEC 60050-811 as well as the following, apply.

3.1

rating of a machine

combination of simultaneous values of electrical and mechanical quantities, with their duration and sequence, assigned to the machine by the manufacturer

3.1.1

rated value

numerical value of any quantity included in a rating

3.1.2

continuous rating

mechanical output that the motor (or electrical output that the generator) can deliver on the test bed for an unlimited time under the conditions specified in 8.1 without exceeding the limits of

temperature rise given in Table 2, all other appropriate requirements in this part also being satisfied

Note 1 to entry: Several continuous ratings may be specified.

3.1.3

short-time rating

(for example, 1 h)

mechanical output that the motor (or electrical output that the generator) can deliver on the test bed for the stated time without exceeding the limits of temperature rise given in Table 2. The test being carried out as specified in 8.1 starting with the machine cold, all other appropriate requirements in this part being also satisfied

3.1.4

short-time overload rating

mechanical output that the motor (or electrical output that the generator) can deliver on the test bed for the stated time without exceeding the agreed limits of temperature

Note 1 to entry: Short-time overload ratings are of value in determining the suitability of machines for duties which involve relatively long periods of operation below the continuous rating followed by a period above it. These are most likely to occur in locomotive applications. They are not relevant to the repeated short load cycles of rapid transit and similar duties, and should not be specified for such applications.

3.1.5

intermittent duty rating

duty cycle in which the machine may be operated without the temperature rises exceeding the limits given in Table 2 at any point

3.1.6

equivalent rating

continuous rating with constant values of voltage, current and speed that, as far as temperature rise is concerned, is equivalent to the intermittent duty cycle which the machine has to withstand in service

Note 1 to entry: This rating should be agreed between user and manufacturer.

3.1.7

guaranteed rating

rating assigned by the manufacturer for test purposes

3.1.8

guaranteed rating of a machine

normally the continuous rating but in special cases the user and manufacturer may agree that it be a short-time or intermittent rating

3.1.9

guaranteed rating of an auxiliary machine

continuous rating unless otherwise specified

3.1.10

rated voltage

root-mean-square value of the fundamental component of the line-to-line voltage of a machine when it is operating at a guaranteed rating

3.1.11

rated speed

speed at a guaranteed rating

3.2**maximum service voltage**

highest root-mean-square value of the fundamental component of the line-to-line voltage of the machine in service

3.3**maximum voltage**

highest root-mean-square value of the fundamental component of the line-to-line voltage of the machine in any possible condition

Note 1 to entry: motor **operated** at high speed with **open circuit** may have a higher **maximum** voltage than the maximum service voltage.

3.4**repetitive peak voltage**

peak value of the waveform of the converter output voltage, any random transient peaks arising from line voltage transients or other causes being disregarded

3.5**EMF**

electromotive force in the machine winding caused by the flux of the permanent magnets

3.6**induced voltage**

open circuit line-to-line root-mean-square value of the fundamental component of the EMF of the machine at a defined speed and a defined magnet temperature

3.7**maximum current**

maximum current shown on the specified characteristic as defined in 5.4

3.8**maximum working speed****3.8.1****maximum working speed of a traction motor**

highest rotational speed assigned to the motor by the manufacturer

Note 1 to entry: When the characteristics of the vehicle for which a motor is intended are specified, this speed is not less than that corresponding to the maximum service speed of the vehicle assuming fully worn metallic wheels or the minimum rolling diameter of rubber tyres.

3.8.2**maximum working speed of generator or auxiliary generator**

generator speed corresponding to the maximum governed speed of the engine for the particular application

Note 1 to entry: This will normally be the maximum governed speed on "no-load". Transient speed variations during load changes should be disregarded.

3.8.3**maximum working speed of an auxiliary machine**

highest rotational speed assigned to the machine by the manufacturer

Note 1 to entry: For specific applications, when assigning this speed, the most unfavourable conditions of voltage, frequency, loading, etc., that can occur in service should be taken in account.

3.9

user

normally the end customer, but can be delegated to an other organization

3.10

manufacturer

producer of machines

3.11

system manufacturer

organization which has the technical responsibility for the supply of the combined system

Note 1 to entry: The system manufacturer as defined above may also be the manufacturer of the motor, of the inverter, of the control, or of all of them, or of none of them.

3.12

cogging torque

torque at the disconnected motor, caused by variations of the reluctance in function of the rotor angle

4 Environmental conditions

Unless otherwise specified by the user, the following environmental conditions are assumed:

a) Altitude

Height above sea level not exceeding Class A3 according IEC 62498-1.

b) Temperature

Air temperature in the shade Class T1 according IEC 62498-1.

Whenever machines are intended to operate where one or both of these limits will be exceeded, special requirements may be agreed between user and manufacturer. For more information refer to IEC 60034-1.

Furthermore, the user shall inform the manufacturer of any particularly severe environmental condition such as dust, humidity, temperature, snow, dynamic effects, etc., to which the machines will be subjected.

5 Characteristics

5.1 Exchange of information

The machine and converter designers shall collaborate to produce all the technical information necessary to ensure that the combined unit will meet the requirements of this part of IEC 60349.

To fulfill this requirement, the machine designer shall provide the converter designer with all the information necessary to fully evaluate the interaction between the machine and the converter.

The converter designer shall also provide the machine designer with the characteristics showing, for example, the converter line-to-line output voltage (including the repetitive voltage peaks), current, fundamental frequency, harmonics and power over the whole range of the application, including operation at the maximum and minimum values of the contact-system voltage.

The machine designer shall provide the converter designer with the characteristics showing induced voltage due to the permanent magnets by 20 °C as a function of speed over the whole

range of application of the machine. To calculate the induced voltage for other temperatures the machine designer shall also provide the temperature coefficient of the induced voltage.

The documents recording this exchange of information shall form an integral part of the specification of the machine and of the converter.

NOTE 1 For more information refer to IEC 61287-1, 5.3.1.1, Interfaces between motor and convertor (inverter).

NOTE 2 The length of cable run between machine and converter and the effect on peak voltages seen at the machine terminals should be considered. Responsible for this issue is the system manufacturer.

NOTE 3 For information about wave fronts and the impact to the machine see IEC 60034-17.

5.2 Special characteristic of a driven permanent magnet machine

The EMF of a driven permanent magnet synchronous machine cannot be switched off. This effect shall be taken into account.

EXAMPLES (informative only):

- An internal winding short circuit induces a short circuit current as soon as the machine is rotating.
- There is a voltage present on the open terminals as soon as the machine is rotating.
- A permanent magnet machine may show a cogging torque.

5.3 Reference temperature

All characteristics, irrespective of the thermal class of insulation system used on the machine to which they apply, shall be drawn for a winding reference temperature of 150 °C and a permanent magnets temperature of 100 °C which shall be stated in the characteristics.

5.4 Specified characteristics

Machine specifications shall, as a general rule, include characteristic curves in accordance with the relevant clauses of this part. These curves, defined as the "specified characteristics", shall be plotted to the designed operating limits of each variable. Unless otherwise agreed between user and manufacturer, the characteristics shall show the performance at the nominal voltage of the intermediate circuit, and shall be submitted to the user before the order for the machines is placed.

5.5 Declared characteristics

Declared characteristics are derived from the results of type tests carried out in accordance with 8.2.1 and shall meet the requirements of 8.2.2.

Unless previously agreed, the declared characteristics of machines electromagnetically identical with any previously manufactured for the same user or application shall be those of the existing machines. In which case, compliance with the characteristics shall be demonstrated by reduced type tests.

5.6 Efficiency characteristics

Efficiency characteristics shall take into account losses arising from the harmonics in the supply from the converter.

5.7 Traction motor characteristics

The specified and declared characteristics of a traction motor shall be the converter-fed variable frequency characteristics, which shall show motor line-to-line voltage, current, induced voltage, mean torque and efficiency as a function of speed over the whole range of application of the motor. Voltage curves shall show the root-mean-square value of the fundamental

component. Current curves shall show the root-mean-square value of the fundamental component and the total root-mean-square value. For motor used in the braking mode, similar characteristics shall be produced showing the torque input and the electrical output as a function of motor speed.

NOTE Subclause 5.1 refers to the need for the exchange of information between the designers of the machine and of the converter.

As an alternative to motor torque and speed, the characteristics may show tractive effort at the rail and vehicle speed, in which case the gear ratio, wheel diameter and transmission losses shall be stated. If conventional values are used for the latter, they shall be in accordance with Figure B.1.

5.8 Main generator characteristics

The characteristic curves shall show voltage and efficiency as a function of load current at defined speeds.

Characteristic curves shall be drawn corresponding to the generator input power available for traction at (or between) maximum, average and minimum engine speeds, and if the engine has a number of predetermined intermediate speed notches, additional curves shall be drawn for a sufficient number of these speeds to adequately show the performance of the generator.

Alternatively, the characteristics may be plotted as a function of speed.

If the generator is used as starter for the main engine, use the same as in 5.7.

5.9 Auxiliary motor characteristics

The specified and declared characteristics of auxiliary motors shall be the converter-fed characteristics, which shall show the motor line-to-line voltage, current, speed and mean torque as a function of motor output for each operating frequency over the whole range of application of the machine. The characteristics of motors which operate at continuously variable frequency shall be plotted for the maximum and minimum frequencies only.

Voltage curves shall show the root-mean-square value of the fundamental component. Current curves shall show the root-mean-square value of the fundamental component and the total root-mean-square value. The characteristics shall take account of the additional losses arising from the supply harmonics and the efficiency at the guaranteed rating shall be stated.

Alternatively, the characteristics may be plotted as a function of speed.

NOTE Subclause 5.1 refers to the need for the exchange of information between the designers of the machine and of the converter.

5.10 Auxiliary generator characteristics

The characteristic curves of output voltage, power and efficiency shall be plotted as a function of output current at the rated speed and, for variable speed machines, at the minimum and maximum speeds for the application. The frequency of the a.c. outputs shall be stated.

If the generator is used as starter for an engine, use the same as in 5.9.

6 Marking

6.1 Nameplate

All machines covered by this part of IEC 60349 shall carry a nameplate including at least the following information:

- a) manufacturer's name;
- b) machine type designation;
- c) remark that indicates this is a permanent magnet machine;
- d) machine serial number;
- e) year of manufacture;
- f) indication of final assembly location.

Furthermore, a serial number shall be punched on both the stator and rotor of every machine, and machines designed for unidirectional rotation shall carry an arrow indicating the direction of rotation.

NOTE 1 f) may be integrated in a), d) or e).

NOTE 2 The machine name plate and, if applicable, the rotation arrow, should be easily readable when the machine is installed in the vehicle.

6.2 Terminal and lead marking

Terminal and lead markings shall be in accordance with IEC 60034-8 unless otherwise agreed.

7 Test categories

7.1 General

There are four categories of tests:

- type tests;
- reduced type test;
- routine tests;
- investigation tests.

NOTE See Clause 1 on duplication of tests.

7.2 Type tests

7.2.1 General

Type tests are intended to prove the ratings, characteristics and performance of new types of machines. They shall be carried out on one machine of every new design. Unless otherwise agreed, the machine shall be one of the first ten manufactured. Where there is a change in place and/or method of manufacture, refer to 7.3.

The type test motor shall also be routine tested (see Clause 9).

Before testing commences, the manufacturer shall provide the user with a test specification outlining the tests to be undertaken to demonstrate compliance with this standard. Following completion of the type tests, the manufacturer shall supply the user with a full test report.

7.2.2 Type tests on converter supply

The type test shall be carried out using the converter and control to be applied in service, but, as an alternative, a supply which closely resembles the supply from the vehicle converter in control principle, waveform and harmonics may be employed.

NOTE

- a) Many working points of a permanent magnet synchronous machine can be operated stable only with the converter and its control.
- b) In case of a permanent magnet generator with rectifier a similar diode bridge can be used instead of a converter.

If agreed, the manufacturer shall demonstrate the similarity of the test and service supplies, and shall state the likely effect on the performance of the machine of any difference between them.

Unless otherwise agreed, the type test may be repeated if the electrical output characteristics of the converter are changed.

7.3 Reduced type test

7.3.1 General

The reduced type test consists of the routine test and one temperature rise test out of 7.3.2 to 7.3.5. This reduced type test is applicable to demonstrate the similarity in repeat orders or change of place and/or method of manufacture or for machines of the same electromagnetic and cooling design at the same or higher rating. If a reduced type test is planned, this additional temperature rise test shall be performed as part of the full type test.

The test parameters shall be maintained for any subsequent test on that design of machine.

The temperature rise measurements shall be carried out as detailed in 8.1.

If all of the following conditions are fulfilled, the full type test can be replaced by this reduced type test.

- a) The agreement between the user and the manufacturer is made.
- b) The results of the reduced type test are within the tolerances established on the previous machines.
- c) The manufacturer provides a full type test report for a previous machine of the same electromagnetic and cooling design at the same or higher rating.

NOTE This reduced type test was named "repeated type test" in IEC 60349-2.

7.3.2 Repeat the type test temperature rise test with converter

Use the same setup, voltage, frequency, torque, cooling and test duration of the type test again.

7.3.3 Repeat a temperature rise test with converter with different load

The machine is fed by a converter and connected to a mechanical load. Voltage, frequency, torque, cooling and test duration can be at the manufacturer's discretion, but the duration of the test shall be at least 1 h and at values that do not over-stress the machine.

7.3.4 Repeat a temperature rise test with sinusoidal supply

The machine is connected to a sinusoidal supply and connected to a mechanical load.

7.3.5 Repeat a temperature rise test in generating mode with a passive load

7.4 Routine tests

The routine tests specified in Clause 9 shall normally be carried out on all machines but, before placing an order, the user and manufacturer may agree to adopt an alternative test procedure (e.g. in the case of machines produced in large quantities under a strict quality assurance procedure). This may permit reduced routine testing of all machines or may require the full tests on a proportion of machines chosen at random from those produced on the order. Any such agreement shall require the dielectric tests specified in 9.4 to be carried out on all machines.

Investigation tests are optional special tests performed to obtain additional information. They shall be carried out only if an agreement between user and manufacturer has been reached before placing the order for manufacture of the machines. The results of these tests shall not influence acceptance of a machine unless similarly agreed.

Table 1 lists the tests required for compliance with this part of IEC 60349.

Table 1 – Summary of tests

Test category	Clause									
	Temperature rise with converter	Temperature rise test for reduced type test Converter or sinusoidal	Characteristics	No-load test	Current load test	Over speed	Dielectric	Vibration	Noise	Investigation
Type	8.1	7.3.1 to 7.3.5 ^a	8.2	9.2.2	9.2.3	8.3	9.4	8.4	8.5 ^a	–
Reduced type test ^a	–	7.3.1 to 7.3.5	–	9.2.2	9.2.3	9.3 ^a	9.4	9.5 ^a	–	–
Routine	–	–	–	9.2.2	9.2.3	9.3 ^a	9.4	9.5 ^a	–	–
Investigation ^a										10

NOTE All machines, including those type tested, shall be routine tested.

^a Optional tests, subject to agreement between user and manufacturer.

8 Type tests

8.1 Temperature-rise tests

8.1.1 General

The tests shall be carried out at the guaranteed ratings of the machine.

The rated mechanical output may be measured directly or indirectly at the machine shaft, or be obtained without measurement by supplying the machine at the voltage, current and frequency shown on the declared characteristics as producing the rated mechanical output.

In the case of continuous rating tests, the time to reach a steady temperature may be shortened by commencing the test at an increased load or reduced ventilation provided that the rated conditions are subsequently maintained for at least 2 h or until it is demonstrated by appropriate means that steady temperatures have been reached.

NOTE Steady temperature is defined as a change in temperature of less than 2 K during the final hour of the test.

8.1.2 Cooling during rating tests

Machines shall be tested with the cooling arranged as in service with all those parts which would affect the temperature rise, including any ducting and filters regarded as part of the vehicle in place, or with an arrangement giving equivalent conditions. Cooling corresponding to that produced by air movement on the vehicle shall be subject to agreement between user and manufacturer.

If cooling is by forced ventilation, the static pressure and the airflow shall be measured at the inlet to the machine so that a table giving the relationship between these two quantities may be drawn up.

If cooling is by self-ventilation with ducts, the air quantity has to be measured in function of the motor speed.

In case of liquid cooling, the static pressure and the liquid flow shall be measured at the inlet to the machine so that a table giving the relationship between these two quantities may be drawn up.

8.1.3 Measurement of temperature

The temperature shall be measured in accordance with annex A.

8.1.4 Judgement of results

The temperature rises of the windings at the “commencement of cooling” as defined in Clause A.4 shall not exceed the values given in Table 2.

8.1.5 Limits of temperature rise

The different thermal classes of insulation systems are defined in IEC 60085.

Table 2 gives the permissible limits of temperature rise above the temperature of the cooling medium, measured on the test bed, for windings, permanent magnets and other parts insulated with materials of the thermal classes presently used in the construction of machines to which this standard applies.

If different parts of the same machine have different thermal classes of insulation systems, the temperature-rise limit of each part shall be that of its individual class.

Table 2 – Limits of temperature rise for continuous and other ratings

Part	Method of measurement	Thermal class of insulation system					
		130(B)	155(F)	180(H)	200	220	250
Stator windings	Resistance	130 K	155 K	180 K	200 K	220 K	250 K
Permanent magnet temperature	Thermometer or another suitable method	The temperature rise shall not be sufficient to endanger the permanent magnets properties.					
Other parts		The temperature rise of any part shall not endanger other parts of the machine.					

For totally enclosed machines, the limits above are increased by 10 K on the winding.

Where the machines are directly or indirectly exposed to the heat from an engine or from any other source, the adoption of temperature rises lower than those specified in Table 2 may be agreed between the user and manufacturer.

To confirm the induced voltage in hot condition, a no-load measurement in hot condition (e.g. just after finishing the temperature rise test) has to be performed. To confirm no demagnetisation, the no-load test has to be repeated at the same conditions after the heat run. The voltage shall not vary more than 3 % from the measurement before the temperature rise test.

8.1.6 Short-time overload test

If short-time overload ratings are specified, they shall be verified by one or more tests carried out as follows.

The following items shall be specified and agreed between user and manufacturer:

- Cooling conditions
- Start temperature and load
- Either a time or a temperature limit

8.2 Characteristic tests and tolerances

8.2.1 General

Tests to demonstrate compliance with the specified characteristics shall be carried out by measuring the electrical input/output to/from the machine and the mechanical output/input from/to it. The mechanical output/input may either be measured directly or be calculated from the measured output of a driven electrical machine of known efficiency.

Alternatively, and if agreed between user and manufacturer, either the output or input of the machine being tested may be derived by summation of the losses.

Load tests shall be carried out with the machine at approximately the winding reference temperature to which the results shall be corrected if the correction is significant. Sufficient test readings shall be taken to enable the declared characteristics of the machine to be plotted.

The electrical input/output to/from the machine may be modified from that shown in the specified characteristics by agreement between the manufacturers of the machine and its associated converter, subject to the temperature rises of all parts of the machine and converter being within their respective limits when operating at the guaranteed rating and the machine losses being within the tolerance specified in 8.2.2.

The tests shall be carried out in only one direction of rotation.

The instruments used to measure the complex waveforms of the input/output to/from the machine shall indicate the value of the current, voltage and power with sufficient accuracy to enable compliance with the specified tolerances to be demonstrated.

8.2.2 Tolerances

8.2.2.1 Traction motors

The declared torque at any electrical input in the specified characteristics between the values corresponding to the maximum torque and to the maximum working speed shall be not less than 95 % of the specified value.

The motor losses at the guaranteed rating shall not exceed the value derived from the specified characteristic by more than 1 % of the rated output power. This tolerance applies only to the guaranteed rating.

The temperature rise of the stator winding from the reduced type test (see 7.3) where applicable, shall not vary by more than $\pm 8 \%$ or $\pm 10 \text{ K}$, whichever is the highest, from the original type test.

At rated speed the induced voltage shall not vary from the corresponding specified value by more than $\pm 10 \%$.

8.2.2.2 Main generators

The generator losses at the guaranteed rating shall not exceed the value derived from the specified characteristic by more than 1 % of the rated output power. The temperature rise from the reduced type test (see 7.3) where applicable, shall not vary by more than $\pm 8 \%$ or $\pm 10 \text{ K}$, whichever is the highest, from the original type test.

At rated speed, the declared maximum current, the voltage at the rated current and the induced voltage (Points Ch1, Ch2, Ch3 in Figure 1) shall not vary from the corresponding values on the specified curve by more than $\pm 10 \%$.

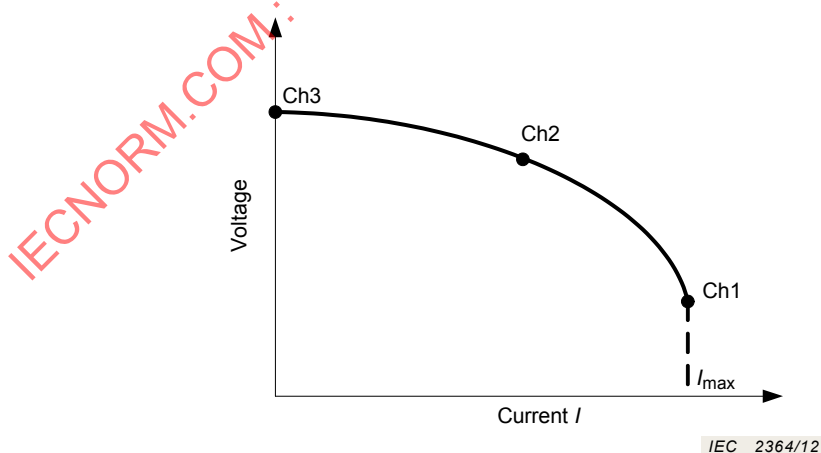


Figure 1 – Inherent characteristic generator

8.2.2.3 Auxiliary motors

The torque shown in the declared characteristics at the guaranteed rating shall be not less than the specified value. The current at the guaranteed rating shall not exceed the specified value.

The current to produce the specified starting torque shall not exceed the value specified to the converter manufacturer in accordance with 5.1.

8.2.2.4 Auxiliary generator

The generator losses at the guaranteed rating shall not exceed the value derived from the specified characteristic by more than 1 % of the rated output power. The temperature rise from the reduced type test (see 7.3) where applicable, shall not vary by more than ± 8 % or ± 10 K, whichever is the highest, from the original type test.

At rated speed, the declared maximum current, the voltage at the rated current and the induced voltage (Points Ch1, Ch2, Ch3 in Figure 1) shall not vary from the corresponding values on the specified curve by more than ± 10 %.

8.3 Overspeed test

An overspeed type test shall be carried out on all types of machines. Machines shall be run for 2 min when hot at 1,2 times the maximum working speed as defined in 3.8. Alternatively, rotors may be tested before assembly in the stator subject to means being provided to heat them to approximately the same temperature as that obtained at the end of the guaranteed rating test. In both cases, measurements shall be taken before and after the test to determine the extent of any distortion of the rotor.

8.4 Vibration tests

A quantitative vibration measurement is to be taken as a type test. Where a motor incorporates an integral gearbox, the gear assembly shall be removed or gearbox replaced by a supporting end shield. Where a generator incorporates an engine, the engine assembly shall be removed or engine replaced by a supporting end shield.

For vibration measurement during type test the machine could be placed only on the test board without any mounting equipment. The velocity of vibration at machine speeds up to 3 600 rev/min shall be within the limit of 3,5 mm/s. For speed above 3 600 rev/min the velocity shall be less than 5,25 mm/s.

If the machine design has no fixed bearing the longitudinal velocity of vibration could be excluded.

For additional information see IEC 60034-14.

Measurements on variable speed machines shall be taken at a number of speeds covering the whole working range.

Vibration velocities in excess of the limiting values may arise from the resonances in the test mountings, in which case they shall be disregarded provided that they do not coincide with a discrete working speed and that the general level of velocity over the speed range is within limits.

Should such a resonance occur at a discrete working speed, the test shall be repeated with an alternative mounting arrangement.

8.5 Noise measurements (optional)

For details, see Annex C.

9 Routine tests

9.1 General

Routine tests shall be carried out in one direction of rotation using a frequency used in service.

The frequencies used for different tests need not be the same but, once established, they shall not be changed. The declared values for the test points shall be the average of the tests on four machines, one of which shall be the machine which has been type-tested. In order to reduce the effect of temperature variations, the tests shall be carried out in the same sequence on all machines.

To confirm consistency within a series, the temperature rise from the type test on sinusoidal supply (see 7.3.3), or type test on a general converter supply (see 7.3.1 or 7.3.2), or type test on generating mode with passive load (see 7.3.4), may be undertaken at intervals throughout the series, either randomly or at set intervals with agreement between user and manufacturer. The tolerances are as defined in 8.2.2.1 (traction motor) or 8.2.2.2 (main generator).

9.2 Characteristic tests and tolerances

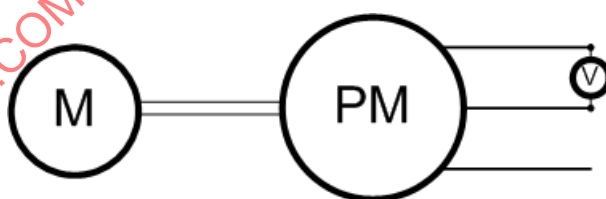
9.2.1 General

Permanent synchronous machines shall be tested under no-load and current load conditions.

9.2.2 No-load tests

The test shall be performed with a cold machine. In order to know the magnet temperature, the temperature of machine shall be documented. The chosen test method shall be one of cases a), b), c) or d).

- a) The machine has to be mechanically coupled with a load-machine (Figure 2). The load-machine shall be powered to drive the tested machine between 10 % and 100 % of the speed shown in the declared characteristics. The fundamental root-mean-square voltage shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than ± 10 %. The speed shall be established on the first motor to be tested and shall be used for all subsequent tests.



IEC 2365/12

Figure 2 – Open terminal

- b) The machine shall be powered by a sinusoidal voltage between 10 % and 100 % of the speed shown in the declared characteristics (Figure 3). The voltage has to be changed until the fundamental root-mean-square current has a minimum. The speed shall be established on the first motor to be tested and shall be used for all subsequent tests. The fundamental root-mean-square voltage shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than ± 10 %.

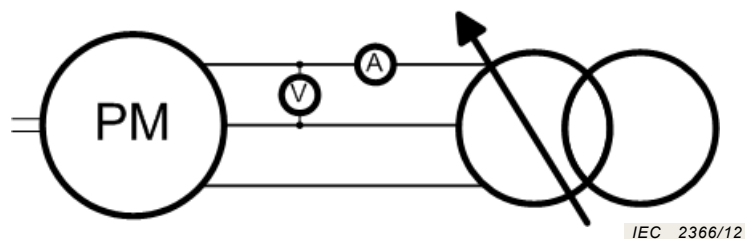


Figure 3 – Sinusoidal supply

- c) The machine shall be powered by a voltage different from sinusoidal waveform between 10 % and 100 % of the speed shown in the declared characteristics (Figure 4). The voltage has to be changed until the fundamental root-mean-square current has a minimum. The speed shall be established on the first motor to be tested and shall be used for all subsequent tests. The fundamental root-mean-square voltage shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than ± 10 %.

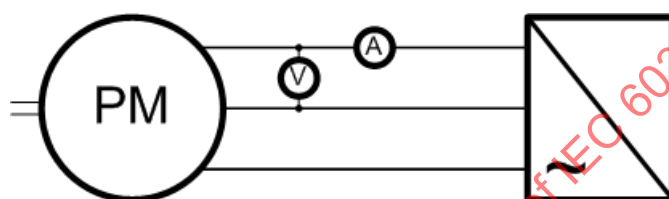


Figure 4 – Converter supply

- d) The machine shall be powered between 10 % and 100 % of the speed shown in the declared characteristics (Figure 5). The speed shall be established on the first motor to be tested and shall be used for all subsequent tests. Immediately after reaching the speed, cut off the power and measure the voltage and the speed over the time. The fundamental root-mean-square voltage of the first oscillation after cut off shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than ± 10 %.

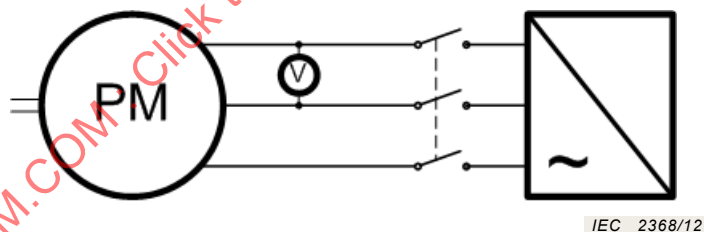
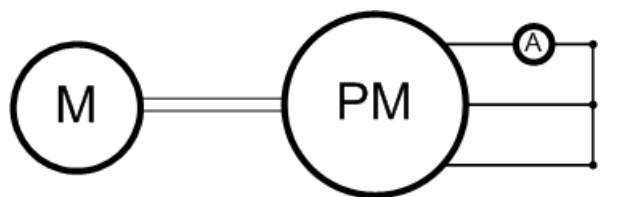


Figure 5 – Converter supply with cut off

9.2.3 Current-load tests

The chosen test method shall be one of cases a), b) or c).

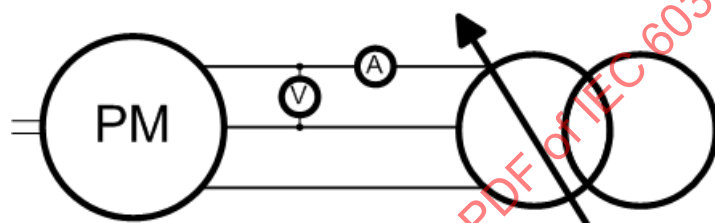
- a) The machine has to be mechanically coupled with a load-machine and the terminal of the machines has to be shorted as close as possible (Figure 6). The load-machine shall be powered to drive the tested machine with the same speed as in the case of no-load conditions. The fundamental root-mean-square current shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than ± 10 %.



IEC 2369/12

Figure 6 – Short-circuit

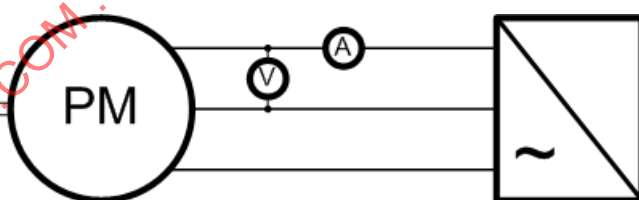
- b) The machine shall be powered by a sinusoidal voltage with the same speed as in the case of no-load conditions (Figure 7). The voltage has to be decreased compared to the voltage in case of minimum current until the fundamental root-mean-square current is higher than 20 % of the rated current. The load current and the speed shall be established on the first motor to be tested and shall be used for all subsequent tests. The fundamental root-mean-square voltage shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than $\pm 10 \%$.



IEC 2370/12

Figure 7 – Sinusoidal supply

- c) The machine shall be powered by a voltage different from sinusoidal waveform with the same speed as in the case of no-load conditions (Figure 8). The voltage has to be decreased compared to the voltage in case of minimum current until the fundamental root-mean-square current is higher than 20 % of the rated current. The load current and the speed shall be established on the first motor to be tested and shall be used for all subsequent tests. The fundamental root-mean-square voltage shall not vary from the declared value established in accordance with 9.1 by more than $\pm 10 \%$.



IEC 2371/12

Figure 8 – Converter supply

9.3 Overspeed tests

Overspeed tests may be agreed between user and manufacturer.

Machines subjected to an overspeed test shall be run for 2 min at 1,2 times the maximum working speed as defined in 3.8. Any deviation from these conditions needs to be agreed between user and manufacturer.

In carrying out the routine overspeed test, precautions may be necessary to avoid damage to roller bearings as a result of operating at high speed on no-load (e.g. reduction of the test speed to not less than the maximum working speed).

In carrying out the routine overspeed test with open terminals, precautions (e.g. reduction of the test speed to not less than the maximum working speed) may be necessary against the effect of high induced voltage.

9.4 Dielectric tests

The tests shall normally be carried out at standstill using a.c. of near sinusoidal waveform and a frequency between 25 Hz and 100 Hz, but d.c. testing may be employed if agreed between user and manufacturer before placing an order.

The test voltage shall be applied in turn between the windings of each circuit and the frame, with the windings of all other circuits connected to the frame. The full value of the voltage shall be applied only to new machines with all their parts in place as under normal working conditions. The test shall be carried out with the machine immediately after completion of the routine tests specified in the preceding clauses.

The test voltage shall be the highest of the values listed in Table 3 for the chosen test method and shall be applied gradually, commencing at not more than one third of the final value. When reached, this final value shall be maintained for 60 s.

Table 3 – Dielectric test voltages

Winding	Test voltage V	
Stator windings of motor or generator	AC tests	$2 \times U_{dc} + 1\,000$ or $2 \times U_{rp} / \sqrt{2} + 1\,000$ or $U_{rpb} / \sqrt{2} + 1\,000$ or $U_{imax} / \sqrt{2} + 1\,000$
	DC tests	$3,4 \times U_{dc} + 1\,700$ or $2,4 \times U_{rp} + 1\,700$ or $1,2 \times U_{rpb} + 1\,700$ or $1,2 \times U_{imax} + 1\,700$
NOTE U_{dc} is the highest mean voltage to earth which can be applied to the d.c. link when the contact system is at its maximum voltage and the machine is motoring (see Annex D). U_{rp} is the maximum repetitive peak voltage to earth which can be applied to the machine winding when the contact system is at its maximum voltage and the machine is motoring. (Repetitive peak voltage is defined in 3.4.) U_{rpb} is the maximum repetitive peak voltage to earth which can appear on the winding when the machine is braking. U_{imax} is the peak voltage to earth which can appear on the winding when the machine is operated at maximum working speed with open terminals (zero current).		

If neither the d.c. link nor the machine windings are normally earth referenced, then U_{dc} and U_{rp} shall be taken as the highest voltages to earth that can appear on their respective circuits, should any point on them become connected to earth.

A lower value for repeated tests shall be agreed between user and manufacturer of the machine.

Remark: The value used to test the converter (see IEC 61287-1) shall be lower or equal to the value used to test the machine.

9.5 Vibration tests (imbalance)

Each machine shall be checked for vibrations associated with machine imbalance. It shall normally be adequate to demonstrate that a machine runs smoothly when mounted on the test bed. Where a machine incorporates an integral gearbox or an engine, which is fitted for the rest of routine test, the vibration check above can also be undertaken with it fitted.

In applications where machine vibration is considered critical, if agreed between user and manufacturer, the tests detailed in 8.4 can be carried out on each machine.

10 Investigation tests

10.1 Measurement of cogging torque

The torque of the machine is measured with open terminals. Details have to be agreed between user and manufacturer.

10.2 Temperature rise test of the machine in high speed with open terminals

The machine is driven by a motor to the defined speed with open terminals.

The test time and speed and cooling conditions should be agreed between user and manufacturer.

The temperature shall be measured in accordance with annex.A.

The temperature rises of windings at the “commencement of cooling” as defined in Clause A.4 shall not exceed the values given in Table 2.

10.3 Temperature coefficient measurement of the induced voltage

To confirm the temperature coefficient of the induced voltage, a no-load measurement in hot condition (e.g. just after finishing the temperature rise test) may be performed.

Annex A (normative)

Measurement of temperature

A.1 Temperature of the machine parts

The temperature of insulated windings shall be measured by the resistance method. The permanent magnets shall be measured by thermometer or another suitable method.

No correction shall be made to the measured temperature rises if the temperature of the cooling air is between 10 °C and 40 °C during the test.

If the cooling air temperature is outside these limits during a type test, a correction to the measured temperature rises may be agreed between user and manufacturer.

Before starting a short-time test, it shall be confirmed, by either thermometer or resistance measurements, that the temperatures of the windings are within 4 K of the temperature of the cooling air. When calculating the winding temperature rises, any such difference in initial temperature up to 4 K shall be subtracted from the result if the winding is the hotter or added to it if it is the cooler.

a) Resistance method

In this method, the temperature rise of a winding is determined by its increase in resistance during the test.

For copper windings, the temperature rise at the end of a test is determined by the following formula:

$$\text{temperature rise} = t_2 - t_a = \frac{R_2}{R_1} (235 + t_1) - (235 + t_a)$$

where:

t_1 is the initial temperature, of the winding in degrees Celsius;

R_1 is the resistance of the winding at temperature t_1 ;

t_2 is the temperature, of the winding at the end of the test in degrees Celsius;

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

t_a is the temperature of the cooling air at the end of the test in degrees Celsius.

NOTE For materials other than copper, the value 235 in the above formula should be replaced with the reciprocal of the temperature coefficient of resistance at 0 °C for the material.

b) Electrical thermometer method

In this method, the temperature is determined by means of electrical thermometers applied to the hottest accessible spots of the relevant parts immediately after the machine is stopped.

A.2 Temperature of the coolant

A.2.1 Air cooling

For totally enclosed machines, the cooling air temperature shall be measured by not less than four thermometers distributed around the machine and spaced between 1 m and 2 m.

In all other cases, the temperature of the cooling air shall be as measured at its entry to the machine and, in the case of more than one entry point, this temperature shall be the average of the measurements at each of the points.

In all cases, the thermometers shall be protected from radiated heat and draughts so that they record the true temperature of the air entering the machine and around it. In order to avoid errors due to variations in the temperature of the cooling air, all reasonable precautions shall be taken to keep such variations to a minimum.

The temperature of the cooling air at the end of a test shall be the average of measurements taken at approximately 15 min intervals during the last hour of a continuous rating test or throughout the duration of short-time test.

A.2.2 Liquid cooling

In case of liquid cooling the temperature of the coolant shall be measured at the inlet.

The temperature of the cooling medium at the end of a test shall be the average of measurements taken at approximately 15 min intervals during the last hour of a continuous rating test or throughout the duration of short-time test.

A.3 Measurement of resistance

A.3.1 Initial cold resistance

The initial cold resistance measurement shall be carried out using the same instruments as for subsequent hot measurements but the measurement need not be repeated at the beginning of each test. The temperatures of the windings shall be taken as their surface temperature as recorded by thermometer at the time of the resistance measurement and shall not differ from the temperature of the ambient air at that time by more than 4 K.

A.3.2 Hot resistance

The hot resistance shall be measured as soon as practicable after stopping the machine at the end of the test. Measurement may be by the voltmeter and ammeter method (volt-ampere method), or by means of a bridge or other suitable means, but the same method shall be employed for all readings on a given winding, including the initial cold one.

If the voltmeter and ammeter method is used, the current shall be high enough to give the necessary accuracy without itself influencing the temperature rise. (In general, a value not exceeding 10 % of the rated current will meet the latter requirement.)

A.4 Stopping of machines and time of “commencement of cooling”

At the end of a test, the machine shall be stopped in as short a time as possible.

A method of braking in which the machine under test does not carry current is preferred. In this case, the “commencement of cooling” shall be the instant when the main circuits are opened immediately before braking, any separate cooling being cut off at this instant.

If such a method is impracticable, methods in which the test machine carries current may be used provided they stop the machine quickly and the load current remains reasonably constant during the braking period. The “commencement of cooling” shall be when the load current has fallen to 80 % of the test value, at which instant the cooling shall be cut off.

A.5 Time of the hot resistance measurement and extrapolation of the cooling and heating curves

Resistance measurements of each winding shall commence not later than 45 s after the “commencement of cooling” and shall be continued for at least 5 min.

The time between successive measurements on each winding shall not exceed 20 s during the first 3 min and 30 s thereafter.

For large machines for which it is not possible to stop in time for measurements to commence within 45 s, special braking arrangements and an extension of time to not more than 2 min shall be agreed between user and manufacturer.

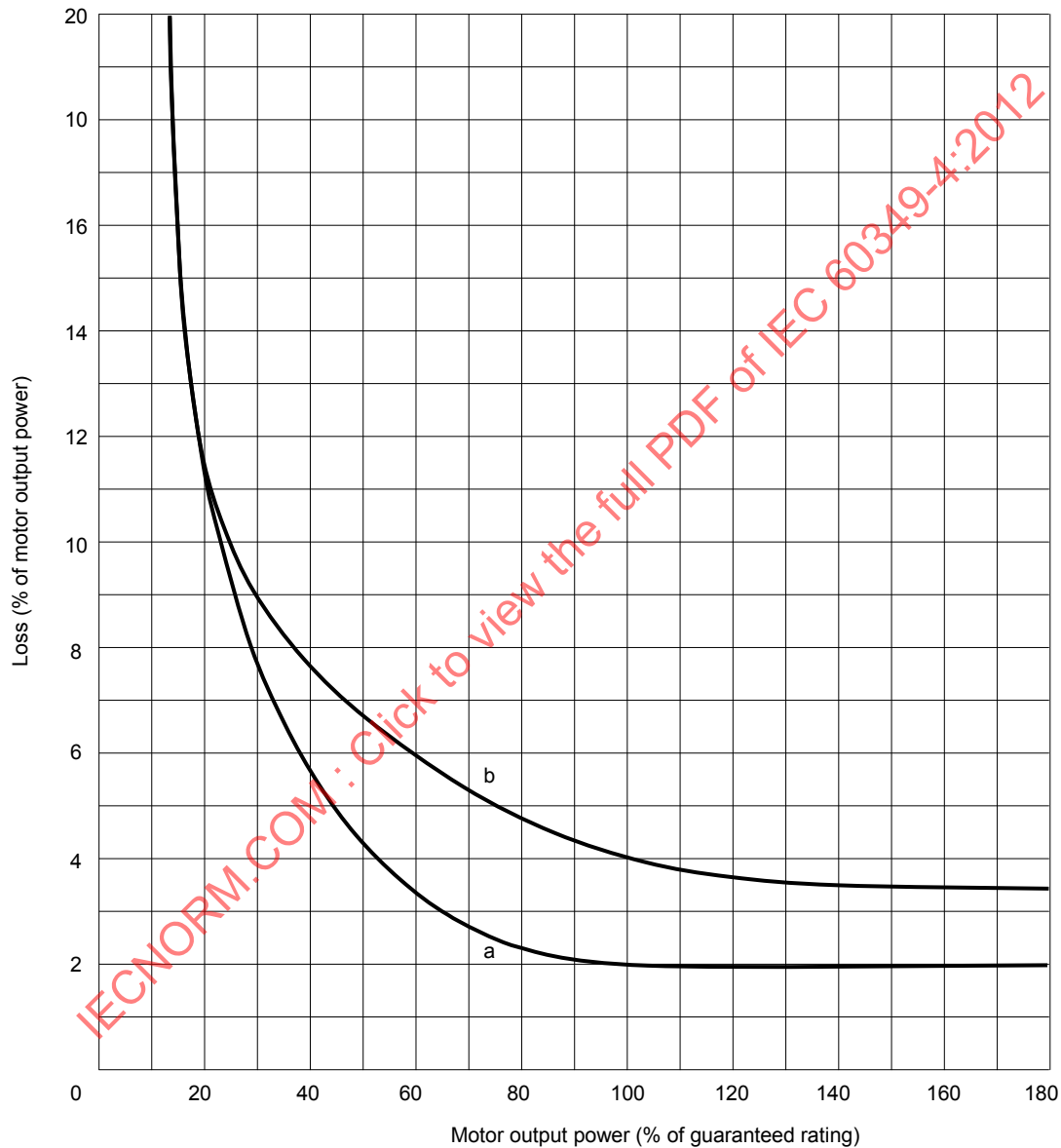
The temperature rises calculated from these readings shall be plotted as a function of time using a logarithmic scale for temperature and a linear scale for time. The resulting curve shall be extrapolated to the time of “commencement of cooling” to give the temperature rise at the end of the test.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-4:2012

Annex B (normative)

Conventional values of traction motor transmission losses

If conventional values of traction motor transmission losses are included in the efficiency calculation they shall be in accordance with Figure B.1.



Curve a: Loss per stage of reduction for gears with parallel shafts
 Curve b: Loss per stage of reduction for gears with shafts at right angles
 Both curves include suspension or gearbox bearing loss.

NOTE These conventional losses are for use in vehicle performance calculations in the absence of more specific information. They are not a basis for acceptance or rejection of machines or gearing.

IEC 2372/12

Figure B.1 – Conventional values of traction motor transmission losses

Annex C (informative)

Noise measurement and limits

C.1 Noise measurement

C.1.1

If noise measurement is required, this should be specified by the user and carried out on one machine only from the order. If however, a test record showing that the noise requirements have been met on an identical machine, constructed on a previous occasion, using the test method detailed in this annex, or a previous edition of IEC 60349, is deemed acceptable to the user, this may be regarded as meeting the requirement for noise measurement.

C.1.2 Sound pressure level measurement and calculation of sound power level produced by the machine shall be made in accordance with Clauses C.5 to C.6, unless one of the alternative methods specified in C.1.3. below applies.

C.1.3 The maximum sound power levels and the correction for pure tones are specified in Clauses C.7 and C.8.

C.1.4 When appropriate, one of the methods of precision or engineering grade accuracy, such as the methods of ISO 3741, ISO 3743-1, ISO 3743-2, ISO 3744, ISO 3745, ISO 9614-1 or ISO 9614-2 may be used to determine sound power levels.

C.1.5 The simpler but less accurate method specified in ISO 3746 or ISO 3747 may be used, especially when the environmental conditions required by ISO 3744 cannot be satisfied.

However, to provide compliance with this standard, unless a correction due to inaccuracy of the measurement has already been applied to the values determined by this method in accordance with ISO 3746 or ISO 3747, the levels of Table C.1 shall be decreased by 2 dB.

C.1.6 If testing under rated load conditions, the methods of ISO 9614-1 or ISO 9614-2 are preferred. However, other methods are allowed when the load machine and auxiliary equipment are acoustically isolated or located outside the test environment.

C.2 Terms and definitions

For the purposes of this annex the following terms and definitions apply.

C.2.1

sound pressure level

sound pressure level L_p , expressed as

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad \text{in dB}$$

where

p is the measured sound pressure;

p_0 is the reference sound pressure expressed in the same units as p .

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa or } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

C.2.2

sound level

reading given by a sound level meter complying with IEC 61672

C.2.3

noise spectrum

spectrum showing the sound pressure level distribution throughout the frequency range. The appearance of the spectrum depends on the bandwidth characteristics of the analyser used.

C.2.4

band pressure level

for a specified frequency band, the effective sound pressure level corresponding to the sound energy contained within the band

C.2.5

sound power level

sound power level L_W is expressed as

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad \text{in dB}$$

where

W is the measured sound power;

W_0 is the reference sound power expressed in the same unit as W

$$W_0 = 10^{-12} W \text{ (or 1 pW)}$$

Note 1 to entry: L_{WA} is a weighted sound power level determined in such a manner that the acoustic power level in each of the frequency bands is weighted according to the A scale.

C.2.6

prescribed path

imaginary line around the machine as detailed in this annex and along which the measurement points are located

C.2.7

equivalent hemisphere

hypothetical hemisphere surrounding the machine on which the measurements are assumed to be made, its radius being denoted by r_s

C.3 Test conditions

C.3.1 Preparation of the machine

Structure-borne vibrations from a machine to its mounting, or other parts of the test room, can influence the sound pressure level in the test room. Such effects should be minimised, for example by mounting the machine on suitably designed resilient mountings.

The machine is fully assembled with all covers in position and is not coupled to any other equipment. Traction machines are tested without their associated gears.

Separately ventilated machines are tested with their normal airflow but the ventilation fan is arranged so that its own noise does not significantly affect the results.

C.3.2 Operating conditions

The machine should be run on no-load at its normal operating speed or, if there is a speed range, at the maximum working speed of the application. A machine designed to operate at two or more discrete speeds should be tested at each of those speeds. A reversible machine should be tested in both directions of rotation.

C.3.3 Background noise

The results of the measurement at each measuring point should be corrected for the effects of any background noise i.e. any noise at the points of measurement other than that of the machine being tested. It also includes the noise of any test equipment.

The background noise reading when the machine is not on test should be determined, for each octave band, at the same points as for the test. The readings at each point with the machine on test ought to exceed those due to the background noise alone by at least 10 dB. When the differences are less than 10 dB, corrections as given Table C.1 should be applied.

Table C.1 – Corrections

Increase in level produced by the machine dB	Decibels to be subtracted from the measured values
3	3
4 to 5	2
6 to 9	1

When corrections of 3 dB are applied, the corrected levels should be reported in brackets.

When the increase is less than 3 dB, measurements in general cease to have any significance.

C.4 Measuring instruments

C.4.1 Grade

The sound level meter should be type 1 as specified in IEC 61672.

Any filters used for noise analyses should be class 1 as specified in IEC 61260.

C.4.2 Calibration of measuring equipment

The overall acoustical performance of the complete measuring equipment should be checked, and any specified adjustments made, immediately before each series of machine noise measurements and re-checking should be carried out immediately after.

These site checks should be augmented by detailed laboratory calibrations of the whole measuring equipment carried out at least once every two years.

C.4.3 Location of instruments and observer

Any measuring amplifiers or filters should be at least 0,3 m and the observer should be at least 1 m from the microphone to reduce errors due to reflections.

When the noise radiated from a machine has marked directivity, measurement of the machine noise under semi-reverberant conditions should be regarded as an approximate method of machine noise measurement.

C.5 Method of measurement

C.5.1 Method

For all machines, measurements should be made on the prescribed paths, shown in Figure C.2 or Figure C.3.

For machines having a maximum linear dimension l (excluding shaft) equal to or exceeding 0,25 m, these rectilinear paths are, at their nearest point, 1 m from the surface of the machine.

For cases where l is less than 0,25 m, these rectilinear paths are, at their nearest points, at a distance d from the surface of the machine between $4l$ and 1 m but not less than 0,25 m.

For all horizontal machines, the prescribed path parallel to the reflecting ground plane should be at shaft height or 0,25 m above the ground, whichever is the greater (see Figure C.2).

For vertical machines, the prescribed path parallel to the reflecting ground plane should be at half the height of the machine but not less than a height of 0,25 m (see Figure C.3).

In all cases, the prescribed path in the vertical plane should be in the plane of the shaft.

C.5.2 Location of measuring points

The position of the measuring points around the prescribed paths given should be as indicated in Figures C.2 and C.3, the measuring points being marked off at successive intervals of 1 m commencing at the five key measuring points in Figures C.2 and C.3.

C.5.3 Quantities to be determined

From the measurements required in C.5.1, the following quantities should be determined at each measurement point:

- a) sound level in dB (A);
- b) pressure levels in octave bands centred on 125 Hz to 4 000 Hz with the sound level meter set to linear response or (C) weighting, where linear response is not available.

C.6 Calculation

C.6.1 Measurement corrections

The results of the measurement at each measuring point should be corrected for the effects of any background noise i.e. any noise at the points of measurement other than that of the machine being tested. It also includes the noise of any test equipment (see C.3.3).

C.6.2 Calculation of the mean levels

The mean sound level and band mean sound pressure levels should be calculated from the results of the measurement at all the test positions (after correction according to C.6.1), by averaging according to the equation:

$$L_{P(M)} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(\text{antilog}_{10} \frac{L_{p(1)}}{10} + \text{antilog}_{10} \frac{L_{p(2)}}{10} + \dots + \text{antilog}_{10} \frac{L_{p(n)}}{10} \right) \right] \text{ dB}$$

where

$L_{P(M)}$ is the mean sound level (A) (or band mean pressure level) in decibels;

$L_{P(1)}$ is the sound level (A) (or band pressure level) in decibels at the first position;

$L_{P(n)}$ is the sound level (A) (or band pressure level) in decibels at the n^{th} position;

n is the number of measuring positions.

When the readings in dB at the various test positions do not differ by more than 5 dB, a simple arithmetic average of the dB readings will give a result differing by not more than 0,7 dB from that given by the equation above.

C.6.3 Calculation of the radius and area of the equivalent hemisphere

For the purpose of the calculation of the mean levels at the reference radius, the measurements made along the prescribed paths of Figures C.2 and C.3 should be assumed to have been made over a hemisphere of radius

$$r_s = \left[\frac{a(b+c)}{2} \right]^{0,5}$$

where a , b and c are as shown in Figures C.2 and C.3.

The area of this equivalent hemisphere is given by

$$S = \pi a (b + c)$$

NOTE The area of the equivalent hemisphere with radius r_s as specified is somewhat smaller than the surface area denoted by the paths of measurement.

C.6.4 Calculation of the approximate octave band power levels

The octave band power levels can be deduced from the octave band mean pressure levels by taking into account the influence of the test room on the measured mean sound pressure levels.

This effect can be determined by using a small broad band reference sound source (some types of aerodynamic noise source may not be suitable), of known acoustic power W_r .

NOTE If the machine under test is sufficiently small and of broad band noise character, it may be taken as a reference source.

The determination of the sound power W_r of the reference source (in octave bands) should first be carried out by the method of C.5.1.

The reference sound source should then be substituted for the machine under test in the semi-reverberant room and the octave band mean sound pressure levels deduced from the measurements at the same measuring points as for the machine under test.

The octave band sound power levels of the machine under test can then be determined from the equation:

$$10 \log_{10} \frac{W}{W_0} = 10 \log_{10} \frac{W_r}{W_0} + 20 \log_{10} \frac{p_M}{p_0} - 20 \log_{10} \frac{p_{Mr}}{p_0}$$

$$\text{or } L_W = L_{W(r)} + L_{p(M)} - L_{p(Mr)}$$

where

L_W is the octave band power level of the machine under test;

$L_{W(r)}$ is the specified octave band power level of the reference source;

$L_{p(M)}$ is the measured octave band mean pressure level of the machine under test;

$L_{p(Mr)}$ is the measured octave band mean pressure level of the reference source.

C.6.5 Calculation of (A) weighted sound power level

From the band power levels obtained in accordance with C.6.4, calculate the approximate (A) weighted sound power level in accordance with the method of C.6.7, reading power level in place of pressure level.

C.6.6 Calculation of the octave band approximate mean sound pressure level

The octave band free field mean pressure levels at the reference radius of 3 m may be deduced by subtracting 18 dB from the octave band power level calculated according to C.6.4.

C.6.7 Calculation of the mean sound level (A)

The mean sound level (A) at the reference radius of 3 m can be computed from the octave band pressure levels of C.6.6.

- a) Apply to the octave band sound pressure level values of C.6.6 the following weighting corrections of Table C.2.

Table C.2 – Corrections

Octave band centred on Hz	Correction dB
125	–16
250	–9
500	–3
1 000	0
2 000	+1
4 000	+1

- b) Sum these octave band weighted sound pressure levels according to the equation below:

$$L_{A(M)} = 10 \log_{10} \left[\text{antilog}_{10} \frac{L_{p(01)}}{10} + \text{antilog}_{10} \frac{L_{p(02)}}{10} + \dots + \text{antilog}_{10} \frac{L_{p(06)}}{10} \right]$$

where

$L_{A(M)}$ is the mean sound level (A) in decibels;

$L_{p(01)}$ is the first octave band weighted sound pressure level;

$L_{p(06)}$ is the sixth octave band weighted sound pressure level.

C.7 Correction for pure tones

To determine the presence of pure tones, a frequency scan using a FFT analysis should be carried out at the measuring position having the highest sound pressure level.

If this indicates the presence of one or more pure tones in any octave centred between 250 Hz and 4 000 Hz, it should be regarded as significant only if the sound pressure level L_p of the one-third octave band containing the tone frequency is more than 5 dB above the average of the levels L_{p-1} , L_{p+1} of the two adjacent one-third octaves. In such cases, the sound power level derived from the measurements should be increased by the appropriate dB correction from Table C.3. If more than one octave contains significant pure tones, the amount to be added should be the greatest of the individual dB corrections.

$$\Delta L = L_p - \frac{L_{p-1} + L_{p+1}}{2}$$

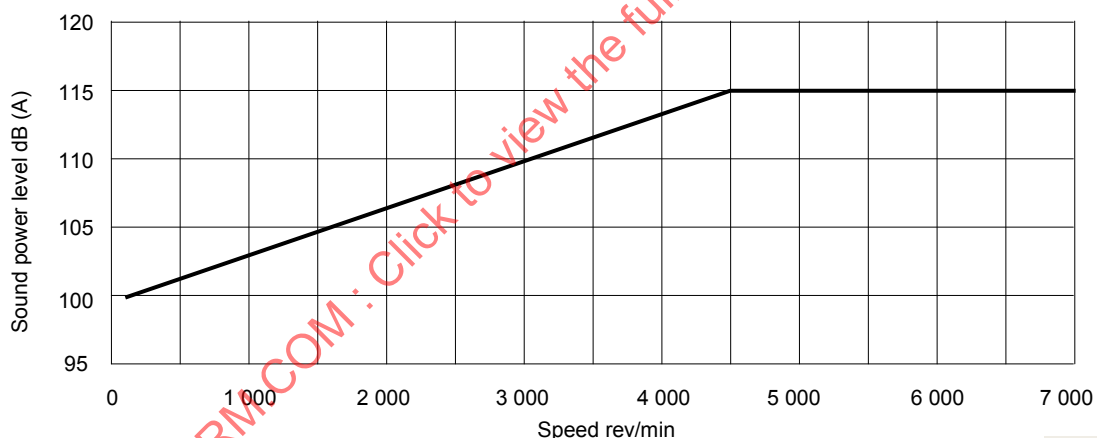
Table C.3 – Correction for pure tones

Decibel above average	Correction dB
$5 < \Delta L \leq 6$	3
$6 < \Delta L \leq 8$	4
$8 < \Delta L \leq 10$	5
$\Delta L > 10$	6

C.8 Noise limits

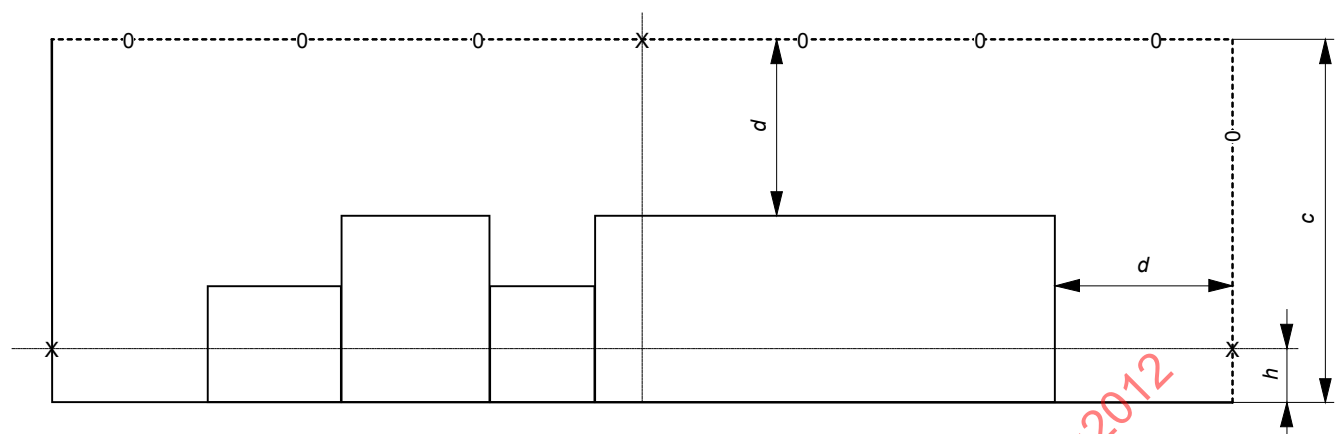
The maximum recommended sound power level for a traction machine, including any correction for pure tones, is given in Figure C.1 for traction machines and by IEC 60034-9 for other types of auxiliary machines.

The recommended limits are those which can be expected for machines which follow normal traction design and construction standards. If lower values are required, the weight of the machine and the complexity of its enclosure may be expected to increase.



IEC 2373/12

Figure C.1 – Limiting mean sound power level for airborne noise emitted by traction machines



IEC 2374/12

Figure C.2 a) – Prescribed path in vertical plane

l m	d m
$\geq 0,25$	1
$< 0,25$	$4 l \leq d \leq 1$ $d > 0,25$

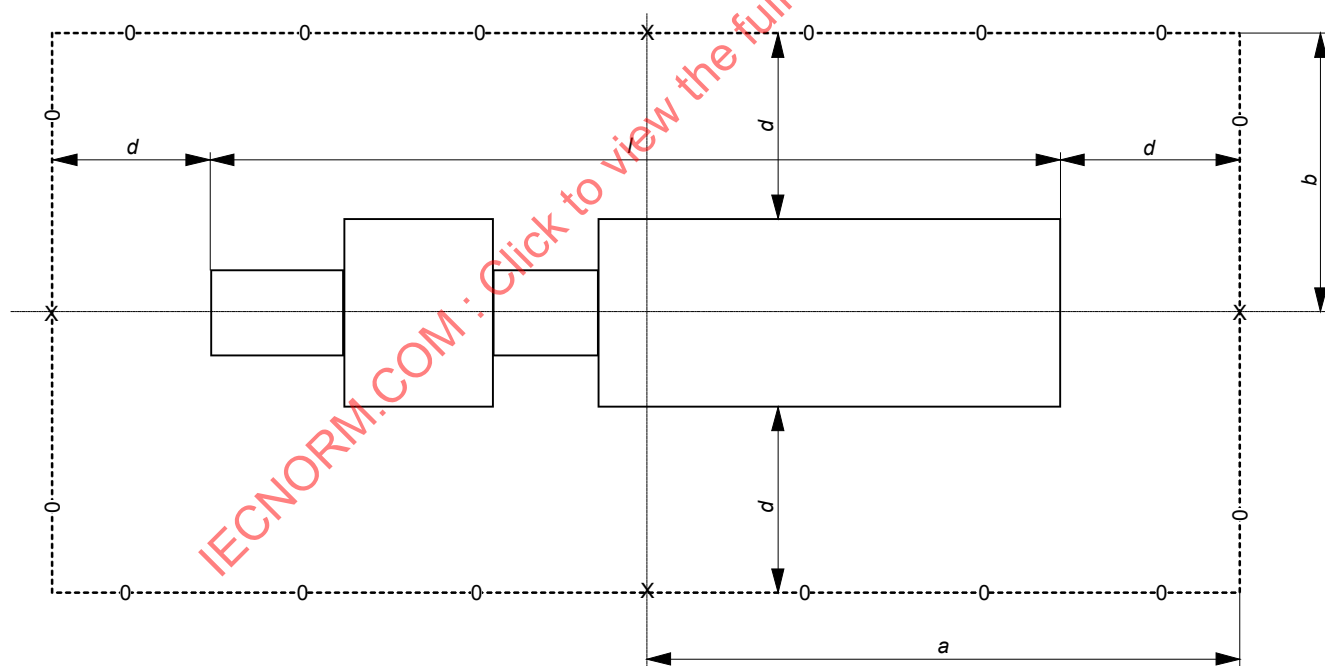


Figure C.2 b) – Prescribed path in the horizontal plane
(at height h above reflecting plane)

IEC 2375/12

Key

- h shaft height or 0,25 m, whichever is greater
- X key measuring points
- 0 other measuring points marked off at intervals of 1 m from key points

**Figure C.2 – Location of measuring points and prescribed paths
for horizontal machines**

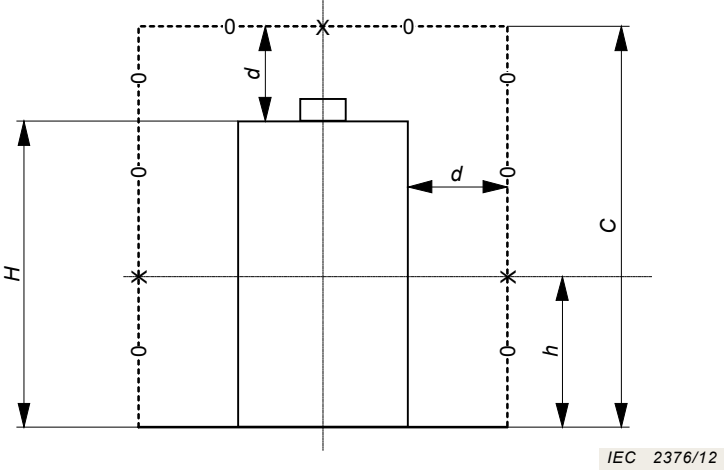


Figure C.3 a) – Prescribed path in the vertical plane

H m	d m
$\geq 0,25$	1
$< 0,25$	$4H \leq d \leq 1$ $d > 0,25$

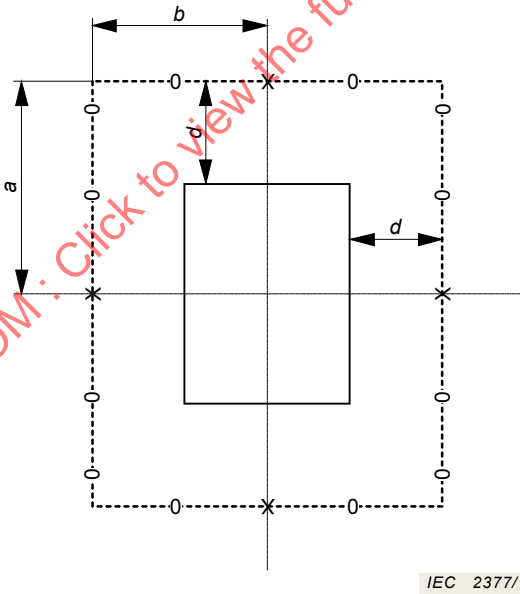


Figure C.3 b) – Prescribed path in the horizontal plane
(at height h above reflecting plane)

Key

h $H/2$ but not less than 0,25 m

X key measuring points

0 other measuring points marked off at intervals of 1 m from key points

**Figure C.3 – Location of measuring points and
prescribed paths for vertical machines**

Annex D (normative)

Supply voltages of traction systems

The nominal, lowest and highest voltages of the traction supply system shall be specified by the user. They should preferably be the standard values which have been adopted in IEC 60850.

The nominal voltage is the basis of motor ratings and characteristics and for the calculation of vehicle performance.

Performance at other than nominal voltage may vary inherently or may be controlled to reduce such a variation, but the holding of constant performance over a wide range of system voltage is not generally desirable.

Auxiliary machines shall have adequate performance to permit operation of the vehicle with the auxiliary supply voltage at any value within the specified limits but it may be acceptable to limit the duration of operation at the minimum voltage.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-4:2012

Annex E (normative)

Agreement between user and manufacturer

E.1 Special requirements of the user to be specified and agreed with the manufacturer

Clause	Subject
4	Exceptional environmental conditions.
5.4	Voltage of the specified characteristics.
6.2	Terminal and lead markings not in accordance with IEC 60034-8.
7.2.1	Similarity of test and service power supplies.
8.1.6	Specification of short-time overload tests.
10	Investigation tests.
Annex C	Noise tests.
Annex D	Supply voltage values.

E.2 Special requirements of the manufacturer to be specified and agreed with the user

Clause	Subject
1	Duplication of tests.
5.4	Declared characteristics different from an existing one.
7.3	Reduced type test.
9.3	Overspeed test, conditions.
8.1.2	Special external cooling arrangements.
8.1.6	Alternative short-time overload test method and additional temperature measurements. (If this test is specified by the user.)
A.5	Special braking arrangements and extension of time for the first resistance measurement.

E.3 Other additional requirements which may be the subject to an agreement between user and manufacturer

Clause	Subject
9.1	Additional temperature rise tests.
9.3	Routine overspeed tests.
9.5	Quantitative vibration tests.

Bibliography

IEC 60034-2-1, *Rotating electrical machines – Part 2: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

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

IEC 60404-8-1, *Magnetic materials – Part 8-1: Specifications for individual materials – Magnetically hard materials*

IEC 61260, *Electro acoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*

IEC 61287 (all parts), *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock*

IEC 61672 (all parts), *Electroacoustics – Sound level meters*

ISO 3741:2010, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation test rooms*

ISO 3743-1, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields – Part 1: Comparison method for hard-walled test rooms*

ISO 3743-2:1994, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields – Part 2: Methods for special reverberation test rooms*

ISO 3744:2010, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*

ISO 3745:2012, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms*

ISO 3746:2010, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

ISO 3747, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment*

ISO 9614-1:1993, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 1: Measurement at discrete points*

ISO 9614-2:1996, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 2: Measurement by scanning*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-4:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	44
1 Domaine d'application et objet	46
2 Références normatives	47
3 Termes et définitions	47
4 Conditions d'environnement	50
5 Caractéristiques	51
5.1 Echange d'informations	51
5.2 Caractéristique spéciale d'une machine à aimants permanents entraînée	51
5.3 Température de référence	51
5.4 Caractéristiques spécifiées	51
5.5 Caractéristiques de base	52
5.6 Caractéristiques de rendement	52
5.7 Caractéristiques des moteurs de traction	52
5.8 Caractéristiques des génératrices principales	52
5.9 Caractéristiques des moteurs auxiliaires	53
5.10 Caractéristiques des génératrices auxiliaires	53
6 Marquage	53
6.1 Plaque signalétique	53
6.2 Marquage des câbles et des bornes	53
7 Catégories d'essais	54
7.1 Généralités	54
7.2 Essais de type	54
7.2.1 Généralités	54
7.2.2 Essais de type sur l'alimentation du convertisseur	54
7.3 Essai de type réduit	54
7.3.1 Généralités	54
7.3.2 Répéter l'essai d'échauffement de type avec un convertisseur	55
7.3.3 Répéter un essai d'échauffement avec un convertisseur et une charge différente	55
7.3.4 Répéter un essai d'échauffement avec une alimentation sinusoïdale	55
7.3.5 Répéter un essai d'échauffement en mode génération et avec une charge passive	55
7.4 Essais de série	55
7.5 Essais d'investigation	56
7.6 Résumé des essais	56
8 Essais de type	56
8.1 Essais d'échauffement	56
8.1.1 Généralités	56
8.1.2 Refroidissement durant les essais en régime assigné	57
8.1.3 Mesure de la température	57
8.1.4 Appréciation des résultats	57
8.1.5 Limites d'échauffement	57
8.1.6 Essai de surcharge de courte durée	58
8.2 Essais et tolérances caractéristiques	58
8.2.1 Généralités	58
8.2.2 Tolérances	59

8.3	Essai de survitesse	60
8.4	Essais de vibration	60
8.5	Mesures du bruit (facultatif)	60
9	Essais de série	61
9.1	Généralités	61
9.2	Essais et tolérances caractéristiques	61
9.2.1	Généralités	61
9.2.2	Essais à vide	61
9.2.3	Essais de charge réelle	62
9.3	Essais de survitesse	63
9.4	Essais diélectriques	64
9.5	Essais de vibrations (non compensées – balourd)	65
10	Essais d'investigation	66
10.1	Mesure du couple d'engrenage	66
10.2	Essai d'échauffement de la machine à grande vitesse avec les bornes ouvertes	66
10.3	Mesure du coefficient de température de la tension induite	66
	Annexe A (normative) Mesure de la température	67
	Annexe B (normative) Valeurs conventionnelles des pertes dans les transmissions des moteurs de traction	70
	Annexe C (informative) Mesure du bruit et limites	71
	Annexe D (normative) Tensions d'alimentation des réseaux de traction	81
	Annexe E (normative) Accord entre l'exploitant et le constructeur	82
	Bibliographie	83
	Figure 1 – Génératrice fonctionnant sur ses caractéristiques intrinsèques	59
	Figure 2 – Borne ouverte	61
	Figure 3 – Alimentation sinusoïdale	62
	Figure 4 – Alimentation du convertisseur	62
	Figure 5 – Alimentation du convertisseur avec coupure de l'alimentation	62
	Figure 6 – Court-circuit	63
	Figure 7 – Alimentation sinusoïdale	63
	Figure 8 – Alimentation du convertisseur	63
	Figure B.1 – Valeurs conventionnelles des pertes dans les transmissions des moteurs de traction	70
	Figure C.1 – Limite de niveau de puissance acoustique moyen de bruit aérien généré par les machines de traction	78
	Figure C.2 – Situation des points de mesure et contours prescrits pour des machines à axe horizontal	79
	Figure C.3 – Situation des points de mesure et contours prescrits pour des machines à axe vertical	80
	Tableau 1 – Résumé des essais	56
	Tableau 2 – Limites d'échauffement pour les régimes continus assignés et autres	57
	Tableau 3 – Tensions d'essais diélectriques	65
	Tableau C.1 – Corrections	73
	Tableau C.2 – Corrections	76
	Tableau C.3 – Correction pour sons purs	77

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRACTION ÉLECTRIQUE – MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES DES VÉHICULES FERROVIAIRES ET ROUTIERS –

Partie 4: Machines électriques synchrones à aimants permanents connectées à un convertisseur électronique

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60349-4 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

La présente norme est issue de la CEI 60349-2 avec adaptation du sujet aux machines synchrones à aimants permanents.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1734/FDIS	9/1759/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60349, présentées sous le titre général *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-4:2012

TRACTION ÉLECTRIQUE – MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES DES VÉHICULES FERROVIAIRES ET ROUTIERS –

Partie 4: Machines électriques synchrones à aimants permanents connectées à un convertisseur électronique

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60349 s'applique aux moteurs ou génératrices (machines) synchrones à aimants permanents alimentés par convertisseur, qui font partie intégrante de l'équipement des véhicules ferroviaires et routiers à propulsion électrique.

La présente norme est issue de la CEI 60349-2 avec adaptation du sujet aux machines synchrones à aimants permanents.

L'objet de la présente partie est de permettre de confirmer, par des essais, les qualités de fonctionnement d'une machine et de procurer une base d'estimation de son aptitude à fournir un service spécifié et une base de comparaison avec d'autres machines.

Lorsque des essais supplémentaires sont à réaliser selon un essai combiné, il peut être préférable de réaliser certains essais de type et d'investigation sur le banc d'essai combiné afin d'éviter des redondances.

Une attention toute particulière est attirée sur la nécessité d'une collaboration entre les concepteurs de la machine et son convertisseur associé, tel que détaillé en 5.1.

NOTE 1 La présente partie s'applique également aux machines installées sur les remorques attelées aux véhicules électriques.

NOTE 2 Les exigences de base de la présente partie peuvent être appliquées aux machines à usages spéciaux telles que les locomotives de mines, mais cette partie ne couvre pas les dispositifs antidéflagrants ou autres équipements spéciaux qui peuvent être nécessaires.

NOTE 3 Il n'est pas prévu que la présente partie soit applicable aux machines de petits véhicules routiers, tels que les camionnettes de livraison alimentées par une batterie, les chariots d'usine, etc. Cette partie ne s'applique pas aux très petites machines, telles que les moteurs d'essuie-glaces, etc., qui peuvent être utilisés sur tous types de véhicules.

NOTE 4 Les machines de type industriel conformes à la CEI 60034 peuvent être adaptées à certains moteurs auxiliaires, sous réserve qu'il soit démontré qu'une application avec une alimentation par convertisseur satisfait aux exigences de l'application concernée.

Le courant électrique absorbé par les moteurs couverts par la présente partie provient d'un convertisseur électronique. Les génératrices peuvent être connectées à un redresseur ou un convertisseur.

Les machines couvertes par la présente partie sont classées comme suit:

a) Moteurs de traction

Moteurs utilisés pour propulser des véhicules ferroviaires ou routiers.

b) Génératrices principales

Génératrices qui servent à fournir l'énergie aux moteurs de traction du même véhicule ou de la même rame.

c) Moteurs auxiliaires non couverts par la CEI 60034

Moteurs servant à l'entraînement de compresseurs, ventilateurs, génératrices auxiliaires ou autres machines auxiliaires.

d) Génératrices auxiliaires non couvertes par la CEI 60034

Génératrices servant à fournir de l'énergie pour les services auxiliaires tels que le conditionnement d'air, le chauffage, l'éclairage, la charge de batterie, etc.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

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

CEI 60034-9, *Machines électriques tournantes – Partie 9: Limites de bruit*

CEI 60034-14, *Machines électriques tournantes – Partie 14: Vibrations mécaniques de certaines machines de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm – Mesurage, évaluation et limites de l'intensité vibratoire*

CEI 60050-131, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 131: Théorie des circuits*

CEI 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-221, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60050-411, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 411: Machines tournantes*

CEI 60050-811, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 811: Traction électrique*

CEI 60085, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

CEI 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI 62498-1, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Equipement embarqué du matériel roulant*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-131, la CEI 60050-151, la CEI 60050-221, la CEI 60050-411 et la CEI 60050-811, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

régime assigné d'une machine

ensemble de valeurs simultanées des grandeurs électriques et mécaniques, associées à leur durée et à leur ordre de succession, attribué à la machine par le constructeur

3.1.1

valeur assignée

valeur numérique de toute grandeur mentionnée dans un régime assigné

3.1.2

régime continu assigné

puissance mécanique que le moteur (ou puissance électrique que la génératrice) peut délivrer au banc d'essai pendant une durée illimitée dans les conditions énoncées en 8.1 sans dépasser les limites d'échauffement indiquées au Tableau 2, toutes les autres exigences appropriées de la présente partie étant également satisfaites

Note 1 à l'article: Plusieurs régimes continus assignés peuvent être spécifiés.

3.1.3

régime de courte durée assigné

(1 h, par exemple)

puissance mécanique que le moteur (ou puissance électrique que la génératrice) peut délivrer au banc d'essai pendant la durée fixée sans dépasser les limites d'échauffement indiquées au Tableau 2. L'essai est effectué dans les conditions énoncées en 8.1 et commencé avec la machine froide, toutes les autres exigences appropriées de la présente partie étant également satisfaites

3.1.4

régime de surcharge de courte durée assigné

puissance mécanique que le moteur (ou puissance électrique que la génératrice) peut délivrer au banc d'essai pendant la durée fixée sans dépasser les limites de température convenues

Note 1 à l'article: Les régimes de surcharge de courte durée assignés concourent à déterminer l'aptitude des machines à des services qui comprennent des périodes d'utilisation de durées relativement élevées à un régime inférieur au régime continu assigné, suivies d'une période à un régime supérieur. Ces régimes sont le plus souvent susceptibles de se produire dans les applications de locomotives. Ils ne correspondent pas aux cycles répétés comportant de courtes charges qu'on rencontre dans les transports urbains et similaires, et il ne convient pas qu'ils soient spécifiés pour de telles applications.

3.1.5

régime intermittent assigné

cycle de travail au cours duquel la machine peut être exploitée sans que les échauffements ne dépassent, à aucun moment du cycle, les valeurs limites du Tableau 2

3.1.6

régime équivalent assigné

régime continu assigné caractérisé par des valeurs constantes de tension, de courant et de vitesse, et considéré, du point de vue de l'échauffement, comme équivalent au cycle de travail intermittent que la machine est tenue de supporter en service

Note 1 à l'article: Il convient que ce régime assigné fasse l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

3.1.7

régime assigné garanti

régime assigné garanti par le constructeur à des fins d'essai

3.1.8

régime assigné garanti d'une machine

normalement le régime continu assigné mais, dans certains cas, constructeur et exploitant peuvent convenir qu'il s'agit d'un régime de courte durée assigné ou d'un régime intermittent assigné

3.1.9**régime assigné garanti d'une machine auxiliaire**

régime continu assigné sauf spécification contraire

3.1.10**tension assignée**

valeur efficace de la composante fondamentale de la tension composée d'une machine fonctionnant à un régime assigné garanti

3.1.11**vitesse assignée**

vitesse correspondant à un régime assigné garanti

3.2**tension de service maximale**

valeur efficace la plus élevée de la composante fondamentale de la tension composée de la machine en service

3.3**tension maximale**

valeur efficace la plus élevée de la composante fondamentale de la tension composée de la machine dans les conditions de fonctionnement potentielles

Note 1 à l'article: Un moteur **exploité** à une vitesse élevée en **circuit ouvert** peut avoir une tension **maximale** plus élevée que la tension de service maximale.

3.4**tension de crête répétitive**

valeur de crête de la forme d'onde de la tension de sortie du convertisseur, les tensions de crête transitoires aléatoires issues des tensions de ligne transitoires ou toutes autres causes n'étant pas prises en compte

3.5**FEM**

force électromotrice de l'enroulement de la machine provoquée par le flux des aimants permanents

3.6**tension induite**

valeur efficace à circuit ouvert de la composante fondamentale de la force électromotrice de la machine correspondant à une vitesse définie et une température d'aimants définie

3.7**courant maximal**

courant maximal indiqué sur la courbe caractéristique spécifiée telle que définie en 5.4

3.8**vitesse maximale d'utilisation****3.8.1****vitesse maximale d'utilisation d'une machine de traction**

plus grande vitesse de rotation attribuée à la machine par le constructeur

Note 1 à l'article: Si le moteur est destiné à équiper un véhicule dont les caractéristiques sont spécifiées, cette vitesse n'est pas inférieure à celle qui correspond à la vitesse maximale de service du véhicule, en admettant que le diamètre des roues motrices correspond à l'état «usé» dans le cas de roues métalliques ou est égal au diamètre minimal de roulement dans le cas de pneumatiques.

3.8.2

vitesse maximale d'utilisation d'une génératrice ou génératrice auxiliaire

vitesse de la génératrice correspondant au maximum de la vitesse régulée du moteur pour cette application particulière

Note 1 à l'article: Celle-ci sera normalement la vitesse maximale régulée à vide. Il convient de ne pas prendre en compte les variations transitoires de vitesse durant les changements de régime.

3.8.3

vitesse maximale d'utilisation d'une machine auxiliaire

plus grande vitesse de rotation attribuée à la machine par le constructeur

Note 1 à l'article: Pour des applications spécifiques, il convient de tenir compte, pour fixer cette vitesse, des conditions les plus défavorables de tension, fréquence, charge, etc., qui peuvent exister en service.

3.9

exploitant

normalement l'utilisateur final, ce rôle pouvant toutefois être délégué à un autre organisme

3.10

constructeur

fabricant de machines

3.11

constructeur du système

organisme ayant la responsabilité technique de la fourniture du système combiné

Note 1 à l'article: Le constructeur du système tel qu'il est défini ci-dessus peut également être le constructeur du moteur, de l'onduleur, de la commande, ou de tous ces équipements ou d'aucun d'entre eux.

3.12

couple d'engrenage

couple correspondant au moteur déconnecté, provoqué par les variations de la réluctance en fonction de l'angle du rotor

4 Conditions d'environnement

Sauf spécification contraire de l'exploitant, on admet que les conditions d'environnement sont les suivantes:

a) Altitude

Altitude au-dessus du niveau de la mer ne dépassant pas la classe A3 selon la CEI 62498-1.

b) Température

Température de l'air à l'ombre de classe T1 selon la CEI 62498-1.

Si les machines sont appelées à fonctionner dans des régions où l'une de ces limites (ou les deux) est dépassée, des exigences spéciales peuvent être convenues entre exploitant et constructeur. Pour plus d'informations, se référer à la CEI 60034-1.

Par ailleurs, le constructeur doit être informé par l'exploitant de toutes conditions d'environnement particulièrement sévères telles que poussière, humidité, température, neige, effets dynamiques, etc., auxquelles les machines sont soumises.

5 Caractéristiques

5.1 Echange d'informations

Les concepteurs de machines et de convertisseurs doivent collaborer à la génération de tous les documents et informations techniques nécessaires pour s'assurer de la satisfaction de l'unité combinée aux exigences de la présente partie de la CEI 60349.

Pour satisfaire à ces exigences, le concepteur d'une machine doit fournir au concepteur d'un convertisseur toutes les informations nécessaires pour évaluer pleinement l'interaction qui existe entre la machine et le convertisseur.

Le concepteur du convertisseur doit également fournir au concepteur de la machine les courbes caractéristiques faisant état, par exemple, de la tension de sortie composée du convertisseur (y compris les tensions de crête répétitives), du courant, de la fréquence fondamentale, des harmoniques et de la puissance sur l'ensemble du domaine d'application, y compris le fonctionnement aux valeurs maximale et minimale de la tension de la ligne de contact.

Le concepteur de la machine doit fournir au concepteur du convertisseur les courbes caractéristiques faisant état de la tension induite due aux aimants permanents sous l'effet d'une température de 20 °C en fonction de la vitesse sur l'ensemble du domaine d'application de la machine. Le concepteur de la machine doit également, pour calculer la tension induite pour d'autres températures, fournir le coefficient de température de cette même tension.

Les documents d'enregistrement de cet échange d'informations doivent faire partie intégrante de la spécification de la machine et du convertisseur.

NOTE 1 Pour plus d'informations, se référer à la CEI 61287-1, 5.3.1.1, Interfaces entre moteur et convertisseur (onduleur).

NOTE 2 Il convient de tenir compte de la longueur du parcours de câble entre la machine et le convertisseur, ainsi que de l'effet sur les tensions de crête observé aux bornes de la machine. La responsabilité de ce domaine incombe au constructeur du système.

NOTE 3 Pour des informations concernant les fronts d'onde et l'influence sur la machine, se reporter à la CEI 60034-17.

5.2 Caractéristique spéciale d'une machine à aimants permanents entraînée

La force électromotrice d'une machine synchrone à aimants permanents entraînée ne peut être interrompue. Il doit être tenu compte de cet effet.

EXEMPLES (à titre informatif uniquement):

- Le court-circuit d'un enroulement interne induit un courant de court-circuit dès que la machine tourne.
- Les bornes ouvertes de la machine tournante sont soumises à une tension.
- Une machine à aimants permanents peut présenter un couple d'engrenage.

5.3 Température de référence

Toutes les caractéristiques, indépendamment de la classe thermique du système d'isolation utilisé sur la machine à laquelle elles s'appliquent, doivent être tracées pour une température de référence des enroulements de 150 °C et une température des aimants permanents de 100 °C, qui doivent être notées sur les courbes caractéristiques.

5.4 Caractéristiques spécifiées

Les spécifications des machines doivent, en règle générale, comporter des courbes caractéristiques conformes aux articles applicables de la présente partie. Ces courbes,

définies comme étant les “caractéristiques spécifiées”, doivent être tracées jusqu'aux limites d'utilisation théoriques de chaque variable. Sauf accord contraire entre l'exploitant et le constructeur, les caractéristiques doivent indiquer les performances de la machine à la tension nominale du circuit intermédiaire, et doivent être présentées à l'exploitant préalablement à la passation de commande des machines.

5.5 Caractéristiques de base

Les caractéristiques de base sont issues des résultats des essais de type effectués conformément au 8.2.1 et doivent satisfaire aux exigences de 8.2.2.

Sauf accord préalable, les caractéristiques de base des machines identiques, sur le plan électromagnétique, à celles déjà construites pour le même exploitant ou la même application, doivent être celles des machines existantes. Dans ce cas, la conformité avec les caractéristiques doit être démontrée par des essais de type réduits.

5.6 Caractéristiques de rendement

Les caractéristiques de rendement doivent prendre en compte les pertes dues aux harmoniques de l'alimentation du convertisseur.

5.7 Caractéristiques des moteurs de traction

Les caractéristiques spécifiées et de base d'un moteur de traction doivent être les caractéristiques de fréquence variable alimentées par le convertisseur, qui doivent présenter la tension composée, le courant, la tension induite, le couple moyen et le rendement du moteur, en fonction de la vitesse sur l'ensemble du domaine d'application de ce même moteur. Les courbes de tension doivent représenter la valeur efficace de la composante fondamentale. Les courbes de courant doivent représenter la valeur efficace de la composante fondamentale et la valeur efficace totale. Pour un moteur utilisé en freinage, des caractéristiques similaires doivent être produites qui présentent la puissance de couple et le courant électrique fourni en fonction de la vitesse dudit moteur.

NOTE Le paragraphe 5.1 fait référence à la nécessité d'un échange d'informations entre les concepteurs de la machine et du convertisseur.

En variante au couple et à la vitesse du moteur, les caractéristiques peuvent présenter un effort de traction à la jante et à la vitesse du véhicule, auquel cas le rapport de réduction, le diamètre des roues et les pertes de transmission doivent être précisés. Si des valeurs conventionnelles sont employées pour ces pertes, ces valeurs doivent être conformes à la Figure B.1.

5.8 Caractéristiques des génératrices principales

Les courbes caractéristiques doivent représenter la tension et le rendement en fonction du courant de charge aux vitesses définies.

Les courbes caractéristiques doivent être tracées pour la puissance d'entrée de la génératrice disponible pour la traction aux (ou entre) vitesses maximale, moyenne et minimale du moteur et si le moteur a un nombre prédéterminé de crans intermédiaires, des courbes complémentaires doivent être tracées pour un nombre suffisant de ces vitesses afin de représenter correctement les performances de la génératrice.

En variante, les caractéristiques peuvent être tracées en fonction de la vitesse.

Lorsque la génératrice est utilisée comme démarreur du moteur principal, utiliser la même génératrice que celle décrite en 5.7.

5.9 Caractéristiques des moteurs auxiliaires

Les caractéristiques spécifiées et de base des moteurs auxiliaires doivent être les caractéristiques alimentées par le convertisseur, qui doivent présenter la tension composée, le courant, la vitesse et le couple moyen en fonction de la puissance de sortie du moteur pour chaque fréquence de service sur l'ensemble du domaine d'application de la machine. Les caractéristiques des moteurs qui fonctionnent à une fréquence à variation continue doivent être tracées pour les seules fréquences maximale et minimale.

Les courbes de tension doivent représenter la valeur efficace de la composante fondamentale. Les courbes de courant doivent représenter la valeur efficace de la composante fondamentale et la valeur efficace totale. Les caractéristiques doivent tenir compte des pertes supplémentaires dues aux harmoniques d'alimentation et le rendement au régime assigné garanti doit être indiqué.

En variante, les caractéristiques peuvent être tracées en fonction de la vitesse.

NOTE Le paragraphe 5.1 fait référence à la nécessité d'un échange d'informations entre les concepteurs de la machine et du convertisseur.

5.10 Caractéristiques des génératrices auxiliaires

Les courbes caractéristiques de tension de sortie, de puissance et de rendement doivent être tracées en fonction de l'intensité débitée à la vitesse assignée ou, dans le cas de machines à vitesse variable, aux vitesses maximales et minimales d'utilisation. La fréquence des sorties à courant alternatif doit être précisée.

Lorsque la génératrice est utilisée comme démarreur d'un moteur, utiliser la même génératrice que celle décrite en 5.9.

6 Marquage

6.1 Plaque signalétique

Toutes les machines couvertes par la présente partie de la CEI 60349 doivent être munies d'une plaque signalétique comportant au moins les informations suivantes:

- a) nom du constructeur;
- b) désignation du type de machine;
- c) remarque précisant qu'il s'agit d'une machine à aimants permanents;
- d) numéro de série de la machine;
- e) année de fabrication;
- f) indication du site de montage final.

Par ailleurs, un numéro de série doit être gravé sur le stator et le rotor de chaque machine, les machines conçues pour une rotation unidirectionnelle doivent pour leur part comporter une flèche qui indique le sens de rotation.

NOTE 1 f) peut être intégré à a), d) ou e).

NOTE 2 Il convient que la plaque signalétique et, le cas échéant, la flèche de rotation, soient facilement lisibles lorsque la machine est installée dans le véhicule.

6.2 Marquage des câbles et des bornes

Le marquage des câbles et des bornes doit être effectué conformément à la CEI 60034-8, sauf accord contraire.

7 Catégories d'essais

7.1 Généralités

Il existe quatre catégories d'essais:

- les essais de type;
- les essais de type réduits;
- les essais de série;
- les essais d'investigation.

NOTE Voir Article 1 pour la reproduction des essais.

7.2 Essais de type

7.2.1 Généralités

Les essais de type ont pour but de démontrer les régimes assignés, les caractéristiques et les performances de nouveaux types de machines. Ils doivent être effectués sur chaque machine de nouvelle conception. Sauf accord contraire, la machine doit être l'une des dix premières de la série construite. En cas de changement du site et/ou de la méthode de construction, se reporter au 7.3.

Tous les essais de série doivent également être effectués au cours de l'essai de type (voir Article 9).

Avant que les essais commencent, le constructeur doit fournir à l'exploitant une spécification d'essai esquissant les essais à entreprendre pour démontrer la conformité de la machine à la présente norme. A la suite de l'achèvement des essais de type, le constructeur doit fournir à l'exploitant un rapport d'essai complet.

7.2.2 Essais de type sur l'alimentation du convertisseur

L'essai de type doit être effectué en utilisant le convertisseur et la commande à appliquer en service, mais, en variante, une alimentation très proche de celle du convertisseur du véhicule eu égard au principe, à la forme d'onde et aux harmoniques de la commande, peut être utilisée.

NOTE

- a) De nombreux points de polarisation d'une machine synchrone à aimants permanents peuvent être exploités dans des conditions de stabilité uniquement avec le convertisseur et sa commande.
- b) Dans le cas d'une génératrice à aimants permanents avec redresseur, un pont de diodes similaire peut être utilisé en lieu et place d'un convertisseur.

Selon accord, le constructeur doit démontrer la similarité des alimentations en essai et en service, et doit signifier l'effet probable sur les performances de la machine, dû à toute différence entre ces deux types d'alimentation.

Sauf accord contraire, l'essai de type peut être répété en cas de modification des caractéristiques de courant électrique fourni du convertisseur.

7.3 Essai de type réduit

7.3.1 Généralités

Cet essai consiste en l'essai de série et un essai d'échauffement décrits de 7.3.2 à 7.3.5. Cet essai de type réduit permet de démontrer la similarité des commandes renouvelées ou du changement de site et/ou méthode de construction, ou dans le cas de machines de même conception électromagnétique et de refroidissement au même régime assigné ou un régime

supérieur. Cet essai d'échauffement supplémentaire doit être effectué comme partie intégrante de l'essai de type complet lorsqu'un essai de type réduit est programmé.

Les paramètres d'essai doivent être conservés pour tout essai ultérieur effectué sur ce type de machine.

Les mesures de l'échauffement doivent être réalisées selon une méthode similaire à celle détaillée en 8.1.

Lorsque toutes les conditions suivantes sont satisfaites, cet essai de type réduit peut se substituer à l'essai de type complet.

- a) L'accord entre l'exploitant et le constructeur est établi.
- b) Les résultats de l'essai de type réduit se situent dans les tolérances établies avec les machines précédentes.
- c) Le constructeur fournit un rapport d'essai de type complet portant sur une machine précédente de même conception électromagnétique et de refroidissement au même régime assigné ou un régime supérieur.

NOTE Cet essai de type réduit était intitulé "essai de type répété" dans la CEI 60349-2.

7.3.2 Répéter l'essai d'échauffement de type avec un convertisseur

Utiliser une nouvelle fois les mêmes montages, tension, fréquence, couple, refroidissement et durée d'essai de l'essai de type.

7.3.3 Répéter un essai d'échauffement avec un convertisseur et une charge différente

La machine est alimentée par un convertisseur et connectée à une charge mécanique. La tension, la fréquence, le couple, le refroidissement et la durée d'essai peuvent être laissés au choix du constructeur, la durée de l'essai doit toutefois être au moins égale à 1 h, la machine ne devant pas être soumise à des valeurs entraînant des contraintes excessives.

7.3.4 Répéter un essai d'échauffement avec une alimentation sinusoïdale

La machine est connectée à une alimentation sinusoïdale et à une charge mécanique.

La tension, la fréquence, le couple, le refroidissement et la durée d'essai peuvent être laissés au choix du constructeur, la durée de l'essai doit toutefois être au moins égale à 1 h, la machine ne devant pas être soumise à des valeurs entraînant des contraintes excessives.

7.3.5 Répéter un essai d'échauffement en mode génération et avec une charge passive

La machine est entraînée par un moteur en mode génération. La charge peut être résistive ou RL (résistance et inductance en série). La fréquence, la puissance, le refroidissement et la durée d'essai peuvent être laissés au choix du constructeur, la durée de l'essai doit toutefois être au moins égale à 1 h, la machine ne devant pas être soumise à des valeurs entraînant des contraintes excessives.

7.4 Essais de série

Ces essais ont pour but de démontrer qu'une machine a été montée de manière correcte, qu'elle est capable de résister aux essais diélectriques appropriés, et qu'elle fonctionne correctement tant sur le plan mécanique que sur le plan électrique.

Les essais de série spécifiés à l'Article 9 doivent normalement être effectués sur toutes les machines mais, préalablement à toute passation de commande, l'exploitant et le constructeur

peuvent convenir d'adopter un mode opératoire alternatif (par exemple, dans le cas de machines fabriquées en grandes quantités dans le cadre d'une procédure d'assurance qualité stricte). Ceci peut permettre la réalisation d'essais de série réduits sur toutes les machines ou peut nécessiter de réaliser les essais complets sur un certain nombre de machines choisies au hasard parmi celles fabriquées suite à la commande. Un accord de cette nature doit requérir la réalisation des essais diélectriques spécifiés en 9.4 sur l'ensemble des machines.

7.5 Essais d'investigation

Les essais d'investigation sont des essais spéciaux facultatifs permettant d'obtenir des informations complémentaires. Ils ne doivent être effectués que si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur avant la signature de la commande de fabrication des machines. Les résultats de ces essais ne doivent pas influencer l'acceptation d'une machine sauf si un accord contraire a été conclu.

7.6 Résumé des essais

Le Tableau 1 donne la liste des essais exigés pour la conformité à la présente partie de la CEI 60349.

Tableau 1 – Résumé des essais

Catégorie d'essai	Article									
	Echauffement avec convertisseur	Essai d'échauffement pour essai de type réduit Convertisseur ou alimentation sinusoïdale	Caractéristiques	Essai à vide	Essai en charge réelle	Sur-vitesse	Diélectriques	Vibrations	Bruit	Investigation
Type	8.1	7.3.1 à 7.3.5 ^a	8.2	9.2.2	9.2.3	8.3	9.4	8.4	8.5 ^a	–
Essai de type réduit ^a	–	7.3.1 à 7.3.5	–	9.2.2	9.2.3	9.3 ^a	9.4	9.5 ^a	–	–
De série	–	–	–	9.2.2	9.2.3	9.3 ^a	9.4	9.5 ^a	–	–
Investigation ^a										10

NOTE Toutes les machines, y compris celles ayant subi les essais de type, doivent subir les essais de série.

^a Essais facultatifs, soumis à un accord entre l'exploitant et le constructeur.

8 Essais de type

8.1 Essais d'échauffement

8.1.1 Généralités

Les essais doivent être effectués aux régimes assignés garantis de la machine.

La puissance mécanique d'entraînement assignée peut être mesurée directement ou indirectement au niveau de l'axe de la machine, ou obtenue sans mesurage par une alimentation de ladite machine à la tension, au courant et à la fréquence représentés sur les caractéristiques de base, avec production de la puissance mécanique d'entraînement assignée.

Pour les essais au régime continu assigné, le temps nécessaire pour atteindre la stabilisation en température peut être réduit en débutant l'essai avec une charge augmentée ou une ventilation réduite, sous réserve que les conditions assignées soient ensuite maintenues.

pendant au moins 2 h, ou jusqu'à ce qu'il soit démontré par des moyens appropriés que les températures stabilisées ont été atteintes.

NOTE Une température est définie comme stabilisée lors d'un changement de température inférieur à 2 K pendant la dernière heure d'essai.

8.1.2 Refroidissement durant les essais en régime assigné

Les essais doivent être effectués sur les machines avec le refroidissement disposé comme en service, en laissant en place tous les organes susceptibles d'influencer l'échauffement, y compris tout gainage ou filtre considéré comme faisant partie intégrante du véhicule en place, ou avec un montage conduisant à des conditions de fonctionnement équivalentes. Le refroidissement correspondant à celui produit par mouvement de l'air sur le véhicule doit être soumis à un accord entre l'exploitant et le constructeur.

En cas de refroidissement par ventilation forcée, la pression statique et le débit d'air doivent être mesurés à l'entrée de la machine de manière à pouvoir établir un tableau de correspondance entre ces deux grandeurs.

Lorsque le refroidissement s'effectue par auto-ventilation au moyen de conduits, la quantité d'air doit être mesurée en fonction de la vitesse du moteur.

En cas de refroidissement par liquide, la pression statique et le débit de liquide doivent être mesurés à l'entrée de la machine de manière à pouvoir établir un tableau de correspondance entre ces deux grandeurs.

8.1.3 Mesure de la température

La température doit être mesurée conformément à l'Annexe A.

8.1.4 Appréciation des résultats

Les échauffements des enroulements, à l'instant "origine de refroidissement" tel que défini à l'Article A.4 ne doivent pas dépasser les valeurs données au Tableau 2.

8.1.5 Limites d'échauffement

Les différentes classes thermiques de systèmes d'isolation sont définies dans la CEI 60085.

Le Tableau 2 donne les limites admissibles d'échauffement au-delà de la température de l'agent de refroidissement, mesuré sur le banc d'essai, pour les enroulements, les aimants permanents et autres parties isolées avec des matériaux des classes thermiques utilisées actuellement dans la construction des machines auxquelles la présente norme s'applique.

Si diverses parties de la même machine sont isolées avec des systèmes de classes thermiques différentes, la limite d'échauffement relative à chaque partie doit être celle de la classe d'isolation correspondante.

Tableau 2 – Limites d'échauffement pour les régimes continus assignés et autres

Partie	Méthode de mesure	Classe thermique du système d'isolation					
		130(B)	155(F)	180(H)	200	220	250
Enroulements du stator	Résistance	130 K	155 K	180 K	200 K	220 K	250 K
Température des aimants permanents	Thermomètre ou autre méthode adaptée	L'échauffement ne doit pas pouvoir menacer les propriétés des aimants permanents.					
Autres parties		L'échauffement d'une partie quelconque ne doit pas menacer les autres parties de la machine.					

Pour les machines complètement fermées, les limites susmentionnées sont augmentées de 10 K pour l'enroulement.

Lorsque les machines sont directement ou indirectement soumises au rayonnement d'un moteur thermique ou de toute autre source de chaleur, l'adoption de limites d'échauffement inférieures à celles spécifiées au Tableau 2 peut faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Une mesure à vide dans une ambiance chaude (par exemple, directement après l'essai d'échauffement) est à réaliser pour confirmer le coefficient de température de la tension induite. Pour confirmer l'absence de démagnétisation, l'essai à vide est à répéter dans les mêmes conditions après l'essai thermique. La tension ne doit pas s'écarter de plus de 3 % de la mesure avant l'essai d'échauffement.

8.1.6 Essai de surcharge de courte durée

Si des régimes de surcharge de courte durée assignés sont spécifiés, ils doivent être vérifiés par un ou plusieurs essais effectués comme suit.

Les éléments suivants doivent être spécifiés et convenus entre l'exploitant et le constructeur:

- Conditions de refroidissement
- Température de départ et charge
- Limite de temps ou de température

8.2 Essais et tolérances caractéristiques

8.2.1 Généralités

Les essais nécessaires pour démontrer la conformité avec les caractéristiques spécifiées doivent être effectués par mesure du courant électrique absorbé/fourni par la machine et la puissance mécanique d'entraînement/utile qui lui est associée. La puissance mécanique d'entraînement/utile peut être mesurée soit directement ou être calculée à partir de la puissance d'entraînement mesurée d'une machine électrique entraînée dont le rendement est connu.

En variante, et si un accord a été établi entre l'exploitant et le constructeur, il est admis de déduire la puissance fournie ou absorbée de la machine en essai par la méthode des pertes séparées.

Les essais en charge doivent être effectués sur la machine à une température proche de la température de référence de l'enroulement, par rapport à laquelle les résultats doivent être corrigés si cette correction est importante. Des relevés d'essai suffisants doivent être effectués pour permettre le tracé des caractéristiques de base de la machine.

Le courant électrique absorbé/fourni par la machine peut être modifié par rapport à celui représenté dans les caractéristiques spécifiées, par un accord entre les constructeurs de la machine et du convertisseur qui lui est associé, à condition que les échauffements de toutes les parties de la machine et du convertisseur se situent dans leurs limites respectives, et ce, dans le régime assigné garanti, et que les pertes de la machine se situent dans les limites de tolérance spécifiées en 8.2.2.

Les essais doivent être effectués dans un sens de rotation uniquement.

Les instruments de mesure des formes d'onde complexes du courant électrique absorbé/fourni par la machine doivent indiquer la valeur des courant, tension et puissance avec une précision suffisante qui permet de démontrer la conformité avec les tolérances spécifiées.

8.2.2 Tolérances

8.2.2.1 Moteurs de traction

Le couple de base pour tout courant électrique absorbé indiqué dans les caractéristiques spécifiées et compris entre les valeurs correspondant au couple maximal et à la vitesse maximale d'utilisation ne doit pas être inférieur à 95 % de la valeur spécifiée.

Les pertes du moteur au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser la valeur déduite des caractéristiques spécifiées de plus de 1 % de la puissance de sortie assignée. Cette tolérance s'applique au seul régime assigné garanti.

L'échauffement de l'enroulement du stator par rapport à l'essai de type réduit (voir 7.3), le cas échéant, ne doit pas s'écarter de plus de ± 8 % ou ± 10 K, selon la plus grande de ces valeurs, de celui de l'essai de type d'origine.

A la vitesse assignée, la tension induite ne doit pas s'écarter de la valeur spécifiée correspondante de plus de ± 10 %.

8.2.2.2 Génératrices principales

Les pertes des génératrices au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser la valeur déduite des caractéristiques spécifiées de plus de 1 % de la puissance de sortie assignée. L'échauffement par rapport à l'essai de type réduit (voir 7.3), le cas échéant, ne doit pas s'écarter de plus de ± 8 % ou ± 10 K, selon la plus grande de ces deux valeurs, de celui de l'essai de type d'origine.

A la vitesse assignée, le courant maximal de base, la tension au courant assigné et la tension induite (points Ch1, Ch2, Ch3 à la Figure 1) ne doivent pas s'écarter de plus de ± 10 % des valeurs correspondantes portées sur la courbe spécifiée.

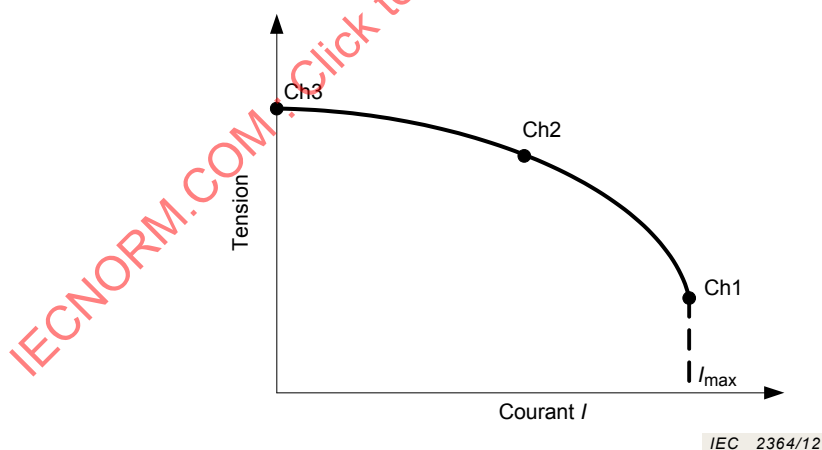


Figure 1 – Génératrice fonctionnant sur ses caractéristiques intrinsèques

8.2.2.3 Moteurs auxiliaires

Le couple représenté sur les caractéristiques de base au régime assigné garanti ne doit pas être inférieur à la valeur spécifiée. Le courant au régime assigné garanti ne doit pas dépasser la valeur spécifiée.

Le courant nécessaire à la production du couple de démarrage spécifié ne doit pas dépasser la valeur spécifiée au constructeur du convertisseur conformément à 5.1.

8.2.2.4 Génératrice auxiliaire

Les pertes des génératrices au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser la valeur déduite des caractéristiques spécifiées de plus de 1 % de la puissance de sortie assignée. L'échauffement par rapport à l'essai de type réduit (voir 7.3), le cas échéant, ne doit pas s'écarter de plus de ± 8 % ou ± 10 K, selon la plus grande de ces valeurs, de celui de l'essai de type d'origine.

A la vitesse assignée, le courant maximal de base, la tension au courant assigné et la tension induite (points Ch1, Ch2, Ch3 à la Figure 1) ne doivent pas s'écarter de plus de ± 10 % des valeurs correspondantes portées sur la courbe spécifiée.

8.3 Essai de survitesse

Un essai de type de survitesse doit être effectué sur tous les types de machines. Les machines doivent fonctionner pendant 2 min dans une ambiance chaude et à une vitesse équivalant à 1,2 fois la vitesse maximale d'utilisation définie en 3.8. En variante, les rotors peuvent être soumis à essai avant montage dans le stator, sous réserve de prévoir des moyens d'échauffement de ces derniers à une température approximativement identique à celle obtenue à la fin de l'essai en régime assigné garanti. Dans les deux cas, les mesures doivent être réalisées avant et après l'essai de manière à déterminer l'étendue de toute déformation du rotor.

8.4 Essais de vibration

Un mesurage quantitatif de vibrations est à considérer comme un essai de type. Lorsqu'un moteur comporte une boîte d'engrenage intégrée, l'engrenage doit être retiré ou la boîte doit être remplacée par un flasque palier d'appui. Lorsqu'une génératrice comporte un moteur, l'ensemble moteur doit être retiré ou être remplacé par un flasque palier d'appui.

Pour la mesure des vibrations au cours d'un essai de type, la machine peut être placée uniquement sur le banc d'essai sans aucun autre équipement de montage. La vitesse de vibration à des vitesses de machine jusqu'à 3 600 tr/min doit se situer dans la limite de 3,5 mm/s. Pour une vitesse supérieure à 3 600 tr/min, la vitesse doit être inférieure à 5,25 mm/s.

Si la conception de la machine ne comporte pas de palier fixe, la vitesse longitudinale des vibrations peut être exclue.

Pour des informations supplémentaires, voir la CEI 60034-14.

Dans le cas de machines à vitesse variable, les mesures doivent être effectuées à un nombre de vitesses suffisant pour couvrir le domaine de fonctionnement complet.

Des vitesses de vibration supérieures aux valeurs limites peuvent être constatées dans le cas de résonances du montage d'essai. Dans ce cas, il ne doit pas en être tenu compte, sous réserve que ces résonances ne coïncident pas avec une valeur discrète de vitesse d'utilisation de la machine et que le niveau général de vitesse au-delà de la plage de vitesses normale se situe dans les limites établies.

Si des résonances de ce type sont constatées à une valeur discrète de vitesse d'utilisation, l'essai doit être répété dans des conditions de montage au banc différentes.

8.5 Mesures du bruit (facultatif)

Pour des informations détaillées, voir l'Annexe C.

9 Essais de série

9.1 Généralités

Les essais de série doivent être effectués dans un sens de rotation en utilisant une fréquence de service.

Il n'est pas nécessaire que les fréquences utilisées pour différents essais soient identiques, mais ces dernières ne doivent pas être modifiées une fois établies. Les valeurs de base relatives aux points d'essai doivent être les valeurs moyennes des essais effectués sur quatre machines, dont l'une d'entre elles doit être la machine ayant subi l'essai de type. Les essais doivent être effectués selon la même séquence sur toutes les machines afin de limiter l'effet des variations de température.

Afin de confirmer la cohérence d'une série de machines, l'échauffement issu de l'essai de type effectué sur une alimentation sinusoïdale (voir 7.3.3), de l'essai de type effectué sur une alimentation de convertisseur générale (voir 7.3.1 ou 7.3.2) ou de l'essai de type effectué en mode génération avec une charge passive (voir 7.3.4), peut être appliqué à des intervalles réguliers parmi la série de machines, de manière aléatoire ou à des intervalles fixes sur accord entre l'exploitant et le constructeur. Les tolérances sont telles que définies en 8.2.2.1 (moteur de traction) ou 8.2.2.2 (génératrice principale).

9.2 Essais et tolérances caractéristiques

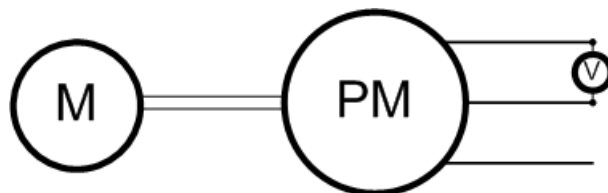
9.2.1 Généralités

Les machines synchrones à aimants permanents doivent être soumises à essai dans des conditions à vide et de charge réelle.

9.2.2 Essais à vide

L'essai doit être effectué avec une machine à froid. Pour connaître la température des aimants, la température de la machine doit être documentée. La méthode d'essai choisie doit être l'une des méthodes spécifiées en a), b), c) ou d).

- a) La machine doit être couplée mécaniquement à une machine de charge (Figure 2). La machine de charge doit être alimentée de manière à entraîner la machine soumise à essai entre 10 % et 100 % de la vitesse représentée dans les caractéristiques de base. La tension efficace fondamentale ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1. La vitesse doit être déterminée sur le premier moteur à soumettre à essai et doit être utilisée pour tous les essais ultérieurs.



IEC 2365/12

Figure 2 – Borne ouverte

- b) La machine doit être alimentée par une tension sinusoïdale comprise entre 10 % et 100 % de la vitesse représentée dans les caractéristiques de base (Figure 3). La tension est à modifier jusqu'à ce que la valeur du courant efficace fondamental soit minimale. La vitesse doit être déterminée sur le premier moteur à soumettre à essai et doit être utilisée pour tous les essais ultérieurs. La tension efficace fondamentale ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1.

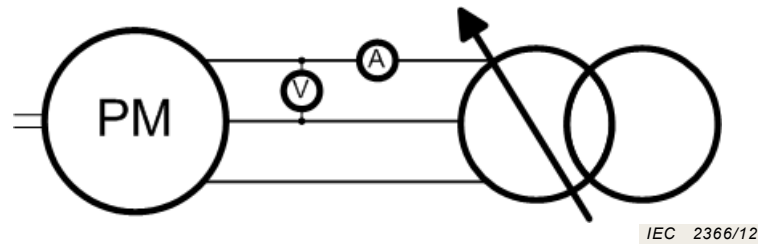


Figure 3 – Alimentation sinusoïdale

- c) La machine doit être alimentée par une tension différente de la forme d'onde sinusoïdale comprise entre 10 % et 100 % de la vitesse représentée dans les caractéristiques de base (Figure 4). La tension est à modifier jusqu'à ce que la valeur du courant efficace fondamental soit minimale. La vitesse doit être déterminée sur le premier moteur à soumettre à essai et doit être utilisée pour tous les essais ultérieurs. La tension efficace fondamentale ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1.

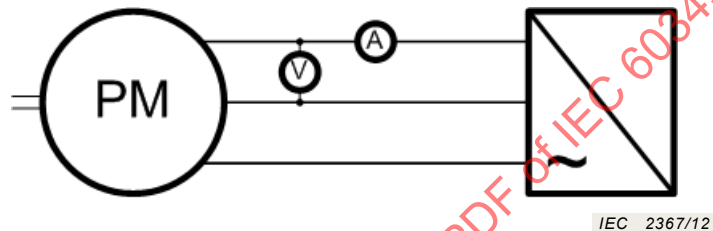


Figure 4 – Alimentation du convertisseur

- d) La machine doit être alimentée par une tension comprise entre 10 % et 100 % de la vitesse représentée dans les caractéristiques de base (Figure 5). La vitesse doit être déterminée sur le premier moteur à soumettre à essai et doit être utilisée pour tous les essais ultérieurs. Dès que la vitesse souhaitée est atteinte, couper l'alimentation et mesurer la tension et la vitesse dans la durée. La tension efficace fondamentale de la première oscillation après coupure de l'alimentation ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1.

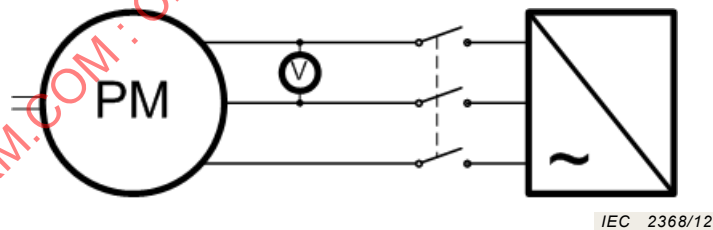


Figure 5 – Alimentation du convertisseur avec coupure de l'alimentation

9.2.3 Essais de charge réelle

La méthode d'essai choisie doit être l'une des méthodes spécifiées en a), b) ou c).

- a) La machine doit être couplée mécaniquement à une machine de charge et les liaisons terminales de la machine doivent être raccourcies autant que possible (Figure 6). La machine de charge doit être alimentée de manière à entraîner la machine en essai avec la même vitesse que celle appliquée dans des conditions à vide. Le courant efficace fondamental ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1.

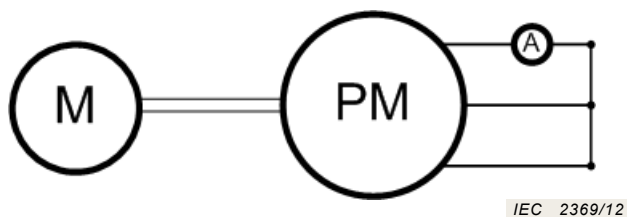


Figure 6 – Court-circuit

- b) La machine doit être alimentée par une tension sinusoïdale avec la même vitesse que celle appliquée dans des conditions à vide (Figure 7). La tension est à diminuer par comparaison à la tension dans le cas d'un courant minimal jusqu'à ce que le courant efficace fondamental soit supérieur de 20 % au courant assigné. Le courant de charge et la vitesse doivent être déterminés sur le premier moteur à soumettre à essai et doivent être utilisés pour tous les essais ultérieurs. La tension efficace fondamentale ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1.

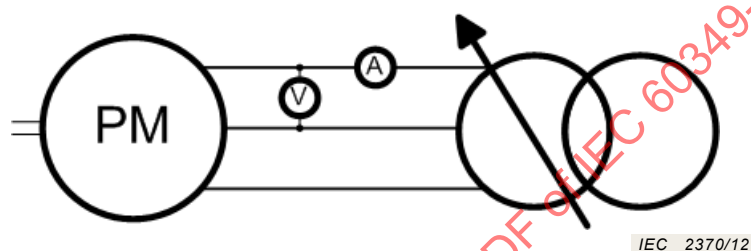


Figure 7 – Alimentation sinusoïdale

- c) La machine doit être alimentée par une tension différente de la forme d'onde sinusoïdale avec la même vitesse que celle appliquée dans des conditions à vide (Figure 8). La tension est à diminuer par comparaison à la tension dans le cas d'un courant minimal jusqu'à ce que le courant efficace fondamental soit supérieur de 20 % au courant assigné. Le courant de charge et la vitesse doivent être déterminés sur le premier moteur à soumettre à essai et doivent être utilisés pour tous les essais ultérieurs. La tension efficace fondamentale ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur de base établie conformément à 9.1.

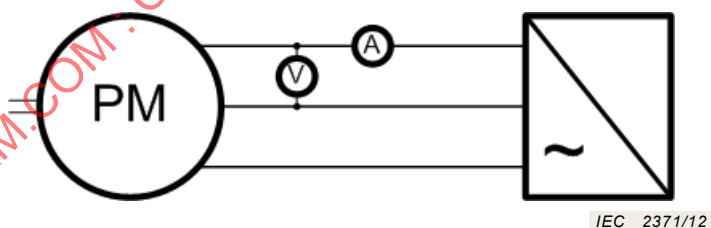


Figure 8 – Alimentation du convertisseur

9.3 Essais de survitesse

Ces essais peuvent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Les machines soumises à un essai de survitesse doivent fonctionner pendant 2 min à une vitesse équivalant à 1,2 fois la vitesse maximale d'utilisation telle que définie en 3.8. Il est nécessaire que tout écart par rapport à ces conditions fasse l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Lors de la réalisation de l'essai de survitesse de série, des mesures de prévention (par exemple, réduction de la vitesse d'essai à la vitesse maximale d'utilisation au minimum) peuvent se révéler nécessaires pour éviter d'endommager les roulements à rouleaux suite à un fonctionnement à une vitesse élevée dans des conditions à vide.

Lors de la réalisation de l'essai de survitesse de série avec des bornes ouvertes, des mesures de prévention (par exemple, réduction de la vitesse d'essai à la vitesse maximale d'utilisation au minimum) peuvent se révéler nécessaires contre l'effet d'une tension induite élevée.

9.4 Essais diélectriques

Les essais doivent normalement être effectués à l'arrêt en utilisant un courant alternatif de forme d'onde quasi sinusoïdale et une fréquence comprise entre 25 Hz et 100 Hz, mais une tension continue d'essai peut être employée si un accord a été conclu entre l'exploitant et le constructeur avant qu'une commande ne soit passée.

La tension d'essai doit être appliquée à tour de rôle entre les enroulements de chaque circuit et la masse, les enroulements de tous les autres circuits étant connectés à la masse. La valeur totale de la tension ne doit être appliquée que sur des machines neuves dont toutes les parties sont en place comme pour un fonctionnement normal. L'essai doit être effectué sur la machine immédiatement après achèvement des essais de série spécifiés aux articles précédents.

La tension d'essai doit être la plus élevée des valeurs énumérées dans le Tableau 3 pour la méthode d'essai choisie et doit être appliquée de manière progressive, en commençant avec une valeur ne dépassant pas un tiers de la valeur finale. Une fois obtenue, cette valeur finale doit être maintenue pendant une durée de 60 s.

Tableau 3 – Tensions d'essais diélectriques

Enroulement	Tension d'essai V	
Enroulements du stator du moteur ou de la génératrice	Essais en courant alternatif	$2 \times U_{dc} + 1\,000$ ou $2 \times U_{rp} / \sqrt{2} + 1\,000$ ou $U_{rpb} / \sqrt{2} + 1\,000$ ou $U_{imax} / \sqrt{2} + 1\,000$
	Essais en courant continu	$3,4 \times U_{dc} + 1\,700$ ou $2,4 \times U_{rp} + 1\,700$ ou $1,2 \times U_{rpb} + 1\,700$ ou $1,2 \times U_{imax} + 1\,700$
NOTE U_{dc} est la plus haute tension moyenne par rapport à la terre qui peut être appliquée à la liaison c.c. lorsque la tension de la ligne de contact est maximale et la machine fonctionne (voir Annexe D). U_{rp} est la tension de crête répétitive maximale par rapport à la terre pouvant être appliquée à l'enroulement de la machine lorsque la tension de la ligne de contact est maximale et la machine fonctionne. (La tension de crête répétitive est définie en 3.4.) U_{rpb} est la tension de crête répétitive maximale par rapport à la terre pouvant apparaître sur l'enroulement en cas de freinage de la machine. U_{imax} est la tension de crête par rapport à la terre pouvant apparaître sur l'enroulement lorsque la machine fonctionne à la vitesse maximale d'utilisation avec les bornes ouvertes (courant nul).		

Lorsque ni la liaison en courant continu, ni les enroulements de la machine ne sont normalement référencés par rapport à la terre, U_{dc} et U_{rp} doivent alors être considérées comme les plus hautes tensions par rapport à la terre qui peuvent apparaître sur leurs circuits respectifs, si un point quelconque sur ces derniers venait à être relié à la terre.

Une valeur inférieure réservée aux essais répétés doit être convenue entre l'exploitant et le constructeur de la machine.

Remarque: La valeur utilisée pour l'essai du convertisseur (voir CEI 61287-1) doit être inférieure ou égale à la valeur utilisée pour l'essai de la machine.

9.5 Essais de vibrations (non compensées – balourd)

Chaque machine doit être vérifiée pour déceler des vibrations associées à une machine non compensée. Il doit normalement être démontré, ce qui constitue la solution adéquate, qu'une machine présente, au banc d'essai, un fonctionnement stable. Lorsqu'une machine comporte une boîte d'engrenage intégrée ou un moteur, installé(e) pour la suite de l'essai de série, la vérification des vibrations mentionnée ci-dessus peut également être effectuée avec la boîte d'engrenage ou le moteur en place.

Dans les applications où la vibration de la machine est considérée comme critique, les essais explicités en 8.4 peuvent être réalisés sur chaque machine, sur accord entre l'exploitant et le constructeur.

10 Essais d'investigation

10.1 Mesure du couple d'engrenage

Le couple de la machine est mesuré avec les bornes ouvertes. Les détails de mesurage sont tenus de faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

10.2 Essai d'échauffement de la machine à grande vitesse avec les bornes ouvertes

La machine est entraînée par un moteur à la vitesse définie avec les bornes ouvertes.

Il convient que l'exploitant et le constructeur déterminent ensemble la durée d'essai, ainsi que le régime de vitesse et les conditions de refroidissement.

La température doit être mesurée conformément à l'Annexe A.

Les échauffements des enroulements, à l'instant "origine de refroidissement" tel que défini à l'Article A.4 ne doivent pas dépasser les valeurs données au Tableau 2.

10.3 Mesure du coefficient de température de la tension induite

Une mesure à vide dans une ambiance chaude (par exemple, directement après l'essai d'échauffement) peut être réalisée pour confirmer le coefficient de température de la tension induite.

Annexe A (normative)

Mesure de la température

A.1 Température des parties de la machine

La température des enroulements isolés doit être mesurée par la méthode de résistance. La température des aimants permanents doit être mesurée au moyen d'un thermomètre ou d'une autre méthode adaptée.

On ne doit pas faire de correction des échauffements mesurés si la température de l'air de refroidissement se situe entre 10 °C et 40 °C pendant l'essai.

Si, lors d'un essai de type, la température de l'air de refroidissement se situe à l'extérieur de ces limites, une correction des échauffements mesurés peut faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'exploitant.

Avant de débiter un essai de courte durée, on doit s'assurer, par des mesures par thermomètre ou par résistance, que la température des enroulements ne diffère pas de plus de 4 K de celle de l'air de refroidissement. Pour calculer l'échauffement d'un enroulement, toute différence de température initiale inférieure à 4 K doit être retranchée du résultat si l'enroulement est initialement à une température plus élevée que l'air, ou ajoutée si l'enroulement est initialement à une température inférieure à celle de l'air de refroidissement.

a) Méthode de résistance

Dans cette méthode, l'échauffement d'un enroulement est déterminé par son augmentation de résistance pendant l'essai.

Pour les enroulements en cuivre, l'échauffement à la fin d'un essai est déterminé par la formule suivante:

$$\text{échauffement} = t_2 - t_a = \frac{R_2}{R_1} (235 + t_1) - (235 + t_a)$$

où:

t_1 est la température initiale de l'enroulement, en degrés Celsius;

R_1 est la résistance de l'enroulement à la température t_1 ;

t_2 est la température de l'enroulement à la fin de l'essai, en degrés Celsius;

R_2 est la résistance de l'enroulement à la fin de l'essai;

t_a est la température de l'air de refroidissement à la fin de l'essai, en degrés Celsius.

NOTE Pour des matériaux autres que le cuivre, il convient de remplacer la valeur 235 de la formule ci-dessus par l'inverse du coefficient de température de résistance, pris à 0 °C, du matériau.

b) Méthode par thermomètre électrique

Dans cette méthode, la température est déterminée au moyen de thermomètres électriques appliqués aux endroits accessibles les plus chauds des parties concernées, immédiatement après arrêt de la machine.

A.2 Température de refroidissement

A.2.1 Refroidissement par air

Pour les machines complètement fermées, la température de l'air de refroidissement doit être mesurée par au moins quatre thermomètres répartis autour de la machine et éloignés l'un de l'autre d'une distance comprise entre 1 m et 2 m.

Dans tous les autres cas, la température de l'air de refroidissement doit être telle que mesurée à son entrée dans la machine et, dans le cas où il existe plusieurs entrées, cette température d'entrée doit être la moyenne des mesures effectuées sur chacune des entrées.

Dans tous les cas, les thermomètres doivent être protégés de la chaleur rayonnée et des courants d'air de façon qu'ils mesurent la température vraie de l'air entrant ou environnant la machine. Afin d'éviter toute erreur liée aux variations de température de l'air de refroidissement, toutes les précautions possibles doivent être prises pour limiter ces variations au minimum.

La température de l'air de refroidissement à la fin d'un essai doit être la moyenne des mesures relevées approximativement toutes les 15 min pendant la dernière heure d'un essai en régime continu assigné ou pendant toute la durée d'un essai de courte durée.

A.2.2 Refroidissement par liquide

Dans le cas d'un refroidissement par liquide, la température du réfrigérant doit être mesurée à l'entrée de la machine.

La température de l'agent de refroidissement à la fin d'un essai doit être la moyenne des mesures relevées approximativement toutes les 15 min pendant la dernière heure d'un essai en régime continu assigné ou pendant toute la durée d'un essai de courte durée.

A.3 Mesure de la résistance

A.3.1 Résistance initiale à froid

La mesure de la résistance initiale à froid doit s'effectuer en utilisant la même instrumentation que celle utilisée ultérieurement pour les mesures à chaud, mais il n'est pas nécessaire de répéter cette mesure au début de chaque essai. Les températures des enroulements doivent être prises égales à celles mesurées en surface par thermomètre au moment de la mesure de la résistance, et ces températures ne doivent pas s'écarter de la température ambiante, à cet instant, de plus de 4 K.

A.3.2 Résistance à chaud

La résistance à chaud doit être mesurée dès que possible après l'arrêt de la machine à la fin de l'essai. Les mesures peuvent être effectuées par la méthode du voltmètre et de l'ampèremètre (méthode volt-ampèremétrique), par l'utilisation d'un pont ou par tout autre moyen applicable, mais pour un enroulement donné, la même méthode doit être employée pour tous les relevés, y compris la mesure initiale à froid.

Si la méthode volt-ampèremétrique est utilisée, le courant doit être assez élevé pour donner la précision de mesure nécessaire sans influencer l'échauffement. (En général, une valeur qui ne dépasse pas 10 % du courant assigné permet de satisfaire à cette dernière exigence).