

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles –
Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors**

**Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires
et routiers –
Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par
convertisseur électronique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-1:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles –
Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors**

**Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires
et routiers –
Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par
convertisseur électronique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

ICS 45.060

ISBN 978-2-88912-182-3

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Environmental conditions.....	13
5 Characteristics	13
5.1 General.....	13
5.2 Reference temperature.....	13
5.3 Efficiency characteristics	14
5.4 Commutator type traction motor characteristics	14
5.5 Main generator characteristics.....	14
5.6 Auxiliary motor characteristics.....	15
5.7 Auxiliary generator characteristics.....	15
5.8 Auxiliary motor-generator set and rotary converter characteristics.....	15
6 Marking	15
6.1 Nameplate.....	15
6.2 Terminal and lead markings	16
7 Test categories and summary of tests	16
7.1 Test categories	16
7.1.1 General	16
7.1.2 Type tests	16
7.1.3 Routine tests	16
7.1.4 Investigation tests	16
7.2 Summary of tests	17
8 Type tests	19
8.1 Temperature-rise tests.....	19
8.1.1 General.....	19
8.1.2 Ventilation during temperature-rise tests	19
8.1.3 Judgement of results	19
8.1.4 Limits of temperature rise	20
8.1.5 Short-time overload temperature-rise test.....	20
8.2 Characteristic tests and tolerances.....	21
8.2.1 General	21
8.2.2 Commutator type traction motors.....	21
8.2.3 Main generators (refer to Figure 2)	22
8.2.4 Auxiliary motors.....	23
8.2.5 Auxiliary generators.....	23
8.2.6 Auxiliary motor-generator sets and rotary converters	23
8.3 Commutation tests	24
8.3.1 General	24
8.3.2 Traction motors (refer to Figure 1)	24
8.3.3 Main generators (refer to Figure 2)	25
8.3.4 Auxiliary motors and generators and motor-generator sets	25
8.4 Transient tests	26
8.4.1 General	26

8.4.2	Traction motors and motors of main motor-generator sets	26
8.4.3	Auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters	26
8.4.4	Voltage jump test on auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters.....	27
8.5	Short-circuit tests on main and auxiliary alternators.....	27
8.6	Starting tests	27
8.6.1	General	27
8.6.2	Single-phase a.c. locomotive motors	28
8.6.3	Main motor-generator sets.....	28
8.6.4	Auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters	28
8.7	Overspeed tests	28
8.8	Vibration tests	28
8.8.1	Internally generated vibration characteristics	28
9	Routine tests	29
9.1	Short-time soundness test.....	29
9.1.1	General	29
9.1.2	Test conditions	29
9.1.3	Plotting of heating and cooling curves	29
9.1.4	Judgement of results	30
9.2	Characteristic tests and tolerances.....	30
9.2.1	General	30
9.2.2	Commutator type traction motors (see Figure 1)	30
9.2.3	Main generators (refer to Figure 2)	30
9.2.4	Alternative tests for alternators	31
9.2.5	Auxiliary motors.....	31
9.2.6	Auxiliary generators.....	31
9.2.7	Auxiliary motor-generator sets and converters	31
9.3	Commutation routine tests.....	32
9.3.1	General	32
9.3.2	Traction motors (refer to Figure 1)	32
9.3.3	Main generators (refer to Figure 2)	32
9.3.4	Auxiliary motors and generators and motor-generator sets	32
9.4	Overspeed tests	32
9.4.1	General	32
9.4.2	Traction motors	32
9.4.3	Main or auxiliary engine-driven generators	32
9.4.4	Generators driven by a vehicle axle	33
9.4.5	Main or auxiliary motor-generator sets, auxiliary converters and auxiliary motors	33
9.5	Dielectric tests	33
9.6	Vibration tests (imbalance)	34
9.7	Commutator radial run-out measurement.....	34
Annex A	(normative) Measurement of temperature	37
Annex B	(informative) Methods of determining losses and efficiency.....	40
Annex C	(informative) Noise measurement and limits	50
Annex D	(normative) Supply voltages of traction systems	59
Annex E	(informative) Agreement between user and manufacturer	60

Bibliography.....	62
Figure 1 – Commutator type traction motor test points	35
Figure 2 – Main generator test points.....	36
Figure B.1 – Circuit for determining loss and efficiency by the regenerative method with the machines connected in parallel.....	42
Figure B.2 – Circuit for determining loss and efficiency by the regenerative method with the machines connected in series.....	43
Figure B.3 – Circuit for determining loss and efficiency by the regenerative method with the machines connected in series and with mechanical drive.....	44
Figure B.4 – Circuit for determining loss and efficiency of single-phase a.c. commutator motors by the regenerative method with the machines connected in series.....	44
Figure B.5 – Circuit for determining loss and efficiency of pulsating current motors by the regenerative method with the machines connected in series	45
Figure B.6 – Circuit for determining loss and efficiency of pulsating current motors by the regenerative method with the machines connected in parallel	46
Figure B.7 – Circuit for the measurement of the a.c. losses of pulsating current motors	46
Figure B.8 – Correction factor for additional load loss of uncompensated d.c machines	48
Figure B.9 – Correction factor for pulsating current I^2R loss.....	48
Figure B.10 – Conventional values of traction motor transmission losses.....	48
Figure C.1 – Limiting mean sound power level for airborne noise emitted by traction motors	56
Figure C.2 – Location of measuring points and prescribed paths for horizontal machines	57
Figure C.3 – Location of measuring points and prescribed paths for vertical machines	58
Table 1 – Summary of tests	18
Table 2 – Limits of temperature rise for continuous or other ratings	20
Table 3 – Temperature rise for short-time overload rating	21
Table 4 – Tolerances on the speed of commutator type traction motors	22
Table 5 – Dielectric test voltages	33
Table 6 – Limits of commutator radial run-out	34
Table C.1 – Corrections	52
Table C.2 – Corrections	55
Table C.3 – Correction for pure tones	56

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRIC TRACTION –
ROTATING ELECTRICAL MACHINES
FOR RAIL AND ROAD VEHICLES –****Part 1: Machines other than electronic converter-fed
alternating current motors**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60349-1 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1999, and its amendment 1 (2002) of which it constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- As the limits of vibration velocities have been changed in IEC 60034-14, the limits valid for traction motors are now directly stated in this standard.
- In addition to the existing method for measuring and calculating the sound power level, the methods described in ISO 3741, ISO 3743, ISO 3744, ISO 3745 and ISO 9614 are also allowed. However the maximum sound power levels and the correction for pure tones remain unchanged in Clauses C.7 and C.8.

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

FDIS	Report on voting
9/1415/FDIS	9/1465/RVD

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

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

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

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 60349-1:2010

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

Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors

1 Scope and object

This part of IEC 60349 is applicable to rotating electrical machines, other than electronic converter-fed alternating current motors, forming part of the equipment of electrically propelled rail and road vehicles. The vehicles may obtain power either from an external supply or from an internal source.

The object of this standard 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 IEC 61377-2, it may be preferable, to avoid duplication, that some type and investigation tests be carried out on the combined test bed.

NOTE 1 This standard also applies to machines installed on trailers hauled by electrically propelled vehicles.

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

NOTE 3 It is not intended that this standard should apply to machines on small road vehicles such as battery-fed delivery vehicles, works trucks, etc. Neither does it 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 the IEC 60034 series may be suitable for certain auxiliary applications.

Electrical inputs or outputs of machines covered by this standard may be as follows:

- a) direct current (including rectified polyphase alternating current);
- b) pulsating current (rectified single-phase alternating current);
- c) unidirectional chopper-controlled current;
- d) single-phase alternating current;
- e) polyphase alternating current (in general three-phase).

In this standard, the electrical machines concerned are classified as follows.

- 1) Traction motors – Motors for propelling rail or road vehicles.
- 2) Engine-driven main generators – Generators for supplying power to traction motors on the same vehicle or train.
- 3) Main motor-generator sets – Machines obtaining power from a line or battery, and supplying power to traction motors on the same vehicle or train.
- 4) Auxiliary motors – Motors for driving compressors, fans, auxiliary generators or other auxiliary machines.
- 5) Auxiliary generators – Generators for supplying power for auxiliary services such as air conditioning, heating, lighting, battery charging, etc.

- 6) Auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters – Machines which obtain their power from the line or other source to provide an electrical supply for auxiliary services.

2 Normative references

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

IEC 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 60085, *Thermal evaluation and designation*

IEC 60638, *Criteria for assessing and coding of the commutation of rotating electrical machines for traction*

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 60050-411 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 a machine by the manufacturer

3.1.1

rated value

numerical value of any quantity included in a rating

NOTE For traction machines, certain special quantities are often included such as current ripple factor for a pulsating current motor, excitation condition for a variable field motor, etc.

3.1.2

continuous rating

electrical load the machine can withstand on the test bed for an unlimited period under the conditions specified in 8.1 without exceeding the limits of temperature rise given in Table 2, all other appropriate requirements in this standard also being satisfied

3.1.2.1

continuous ratings of an engine-driven main generator

an engine-driven main generator normally has two continuous ratings which are defined below:

- a) continuous rating "at lower voltage"

continuous rating determined by the temperature rise of the windings through which the load current flows (higher value of load current and lower voltage)

- b) continuous rating "at higher voltage"

continuous rating determined by the temperature rise of the field windings (lower value of load current and higher voltage)

NOTE 1 These two continuous ratings correspond to points on the full power regulated characteristic as defined in 3.8.2 or on the inherent characteristic as defined in 3.8.3.

NOTE 2 Ratings similar to those specified above may, where appropriate, be applied to a main motor-generator set.

3.1.3

short-time (for example, 1 h) rating

electrical load that a machine can withstand 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 (see Clause A.1), all other appropriate requirements in this standard also being satisfied

3.1.4

short-time overload rating

electrical load that a machine can withstand on the test bed for the stated time without exceeding the limits of temperature rise given in Table 3 (the test being started and carried out as specified in Annex A)

NOTE 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

electrical loads and conditions at which a machine may be operated on a duty cycle without the temperature rises at any point in the cycle exceeding the limits given in Table 2

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 a long series of the intermittent duty cycles which the machine has to withstand in service

NOTE This rating should be agreed between user and manufacturer.

3.1.7

guaranteed rating

rating guaranteed by the manufacturer

3.1.7.1

guaranteed rating of a traction motor

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

3.1.7.2

guaranteed ratings of an engine-driven main generator

the guaranteed ratings are normally the two continuous ratings defined in 3.1.2, but in special cases, the manufacturer and user may agree that they are short-time or intermittent ratings

3.1.7.3

guaranteed ratings of a main motor-generator set

the guaranteed ratings are normally the continuous rating, but in special cases, the manufacturer and user may agree that they are short-time or intermittent ratings

3.1.7.4

guaranteed rating of an auxiliary machine

unless otherwise specified, the guaranteed rating is the continuous rating

3.2

rated voltage

specified value of the voltage at the terminals of the machine when operating at a rating. If unidirectional, the voltage is the arithmetic mean of the recurring waveform and if alternating it is the root mean square value of the fundamental frequency component of the recurring waveform

NOTE In the case of a machine with a protective resistor permanently in series, the resistor is considered as an integral part of the machine.

3.2.1

rated voltage of a motor fed directly or indirectly from a contact system (including motors of motor-generator sets)

highest value of voltage (excluding transients) which can appear at the motor terminals when it is drawing its rated current with the contact system at its nominal voltage as defined in Annex D

NOTE 1 In some cases, it may be necessary to assign ratings at other than the above voltage in order to fully define the performance of a machine, an example being a motor-generator set giving constant power output over a range of input voltages

NOTE 2 If, in the case of an indirectly fed motor, the regulation characteristic of the transformer or other device is not specified, the rated voltage is taken as 90 % of the open-circuit value

3.2.2

rated voltage of a motor fed from a generator or battery located on the vehicle

3.2.2.1

traction motors

rated voltage corresponding to the maximum voltage of the source when supplying the motor at its rated current

3.2.2.2

auxiliary motors

rated voltage corresponding to the nominal voltage of the auxiliary supply (see note to 3.2.4)

3.2.3

rated voltages of a main generator

two rated voltages corresponding to the two continuous ratings defined in 3.1.2

3.2.4

rated voltage of an auxiliary generator (including generators of auxiliary motor-generator sets or rotary converters)

voltage corresponding to the nominal voltage of the auxiliary supply

NOTE The nominal voltage of the auxiliary supply should normally be agreed between the manufacturer and the user, taking into account factors (such as standardization with other vehicles), which may influence the choice.

3.3

rated speed of a machine

speed at a guaranteed rating of the machine

3.3.1

rated speed of an engine-driven main or auxiliary generator

speed of the generator corresponding to the rated speed of the engine

3.3.2

rated speed of an axle-driven generator

speed agreed between the manufacturer and the user

3.4

maximum (or minimum) voltage

3.4.1

maximum (or minimum) voltage of a machine

highest (or lowest) voltage which the machine will be called upon to withstand in service, transient voltages being excluded. Also excluded is any reduction in the minimum voltage by control means during starting or acceleration

NOTE Unless otherwise agreed the maximum voltage of an auxiliary machine connected in series with other machines without mechanical coupling is taken as 1,2 times the highest voltage of the supply to the machines divided by the number in series.

3.4.2

maximum and minimum voltage of a machine supplied directly or indirectly from a contact system

voltages normally corresponding to the highest and lowest voltages of the traction system (see Annex D), account being taken of the regulation of any transformer or control equipment interposed between the line and the machine

3.5

maximum current

maximum value of current shown on the characteristic curve supplied by the manufacturer

3.6

maximum working speed

3.6.1

maximum working speed of a traction motor

highest rotational speed assigned to the traction motor by the manufacturer

NOTE When the characteristics of the vehicle for which the motor is intended are specified, this speed should be not less than that corresponding to the maximum service speed of the vehicle, assuming fully worn metal wheels or the minimum rolling diameter of rubber types.

3.6.2

maximum working speed of an engine-driven main or auxiliary generator

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

NOTE This will normally be the maximum governed speed on "no-load". Transient speed variations during load changes should be disregarded.

3.6.3

maximum working speed of a generator with a rotational speed proportional to the speed of the vehicle

highest rotational speed assigned to the generator by the manufacturer. See note in 3.6.1

3.6.4

maximum working speed of a main or auxiliary motor-generator set, an auxiliary converter or an auxiliary motor

highest rotational speed assigned to the machine by the manufacturer

NOTE For specific applications account should be taken, when assigning this maximum speed, of the most unfavourable conditions of voltage, excitation, frequency, loading, etc., that can occur in service.

3.7

output and input power of electrical machines and heat engines

3.7.1

output power of a motor

mechanical output power available at the motor shaft, expressed in kilowatts (kW)

3.7.2

maximum service output power of a heat engine

maximum output power assigned to a heat engine for a particular application

3.7.3

available input power to a main generator

input power converted to electricity to supply the traction motors and other loads, such as train heating, connected to it

NOTE 1 It is used to derive the ratings and characteristics of the generator.

NOTE 2 The maximum available input power to a main generator is the maximum service output power of the heat engine, less the power it provides to drive, either directly or indirectly, the engine cooling equipment and vehicle auxiliaries, assuming these are operating at their minimum input power for the given condition.

NOTE 3 The available input power is not necessarily absorbed by the main generator over its whole working current range.

3.8

main generator characteristics

3.8.1

regulated characteristic

characteristic obtained if the power demand of a main generator is regulated to absorb the available input power, the product of current and voltage remaining substantially constant between the limits of regulation

3.8.2

full power regulated characteristic

regulated characteristic corresponding to the maximum available input power

3.8.3

inherent characteristic

characteristic of a generator designed to operate without load regulating equipment to match its power demand to the available engine output power

3.9

effective field ratio of a series motor

ratio of the actual field ampere-turns to the maximum obtainable at the same armature current

NOTE 1 A series motor is said to be

- in full field when the field current is equal to the armature current;
- in maximum field when the effective field ratio is the maximum used in service;
- in weak field when the effective field ratio is below the maximum;
- in minimum field when the effective field ratio is the minimum used in service.

NOTE 2 For motors without permanent shunts across the field windings, full field and maximum field are the same.

3.10

effective resistance of a series motor

resistance value which, when multiplied by the load current, gives the total resistive voltage drop in the machine windings, i.e. it takes account of any shunt across the field windings

3.11

ripple factor

ripple factor of a continuous pulsating current is defined as:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100$$

expressed as a percentage in which $I_{\max}$ and $I_{\min}$ are respectively the maximum and the minimum values of the current waveform

NOTE This is in accordance with IEC 61287-1.

3.12

pulsating frequency

frequency of the fundamental alternating component of a pulsating current or voltage

3.13

pulse control

control of the power supply to a machine by varying the starting and terminating points of repeated pulses of voltage or current

NOTE Pulse control devices include, but are not limited to, choppers, inverters and electronically controlled rectifiers.

4 Environmental conditions

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

a) Altitude

Height above sea level: Class A3 according IEC 62498-1.

b) Temperature

Temperature in the shade: Class T1 according IEC 62498-1.

Whenever the 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.

The manufacturer shall be informed by the user of any particularly arduous conditions such as dust, humidity, temperature, snow, dynamic effects, etc. under which the machines are intended to work.

5 Characteristics

5.1 General

Machine specifications shall, as a general rule, include characteristic curves in accordance with the following subclauses. These curves, defined as the "specified characteristics", shall be plotted up to the designed operating limits of each variable.

When the first few machines of a type have been tested, "declared characteristics" shall be produced from the results in accordance with 8.2.

Unless otherwise 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 routine tests only.

5.2 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 which shall be stated on the characteristics.

5.3 Efficiency characteristics

Efficiency characteristics shall take account of losses in external resistances normally included in either the main or excitation circuits. Any power used in providing separate excitation shall be included in the losses unless otherwise accounted for (e.g. as an auxiliary load), in which case the omission shall be stated.

5.4 Commutator type traction motor characteristics

The characteristic curves shall normally show motor speed, torque and efficiency as a function of current. Alternatively the curves may show vehicle speed and tractive effort at the rail as a function of current, 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.10.

Curves shall be drawn for each excitation condition employed on the application except that where continuously variable field control is employed, only the maximum and minimum curves need be drawn. The effective machine resistance for each effective field ratio shall be stated.

The characteristic curves of traction motors supplied directly or indirectly from a contact system, or from a battery located on the vehicle, shall be drawn at the rated voltage, except when the circuit includes equipment (such as a transformer or inductor) which introduces a current-dependent voltage drop at the motor terminals. For these exceptions, the curves shall be drawn for a motor voltage corresponding to the nominal supply voltage and a motor voltage current curve shall be included in the characteristics. If this information is not available, the curves may be drawn for the rated voltage.

The characteristic curves of traction motors used on thermo-electric vehicles shall normally be drawn for a voltage corresponding to the lower voltage of the generator at its continuous rating, but they may, by agreement, be drawn for other voltages.

The characteristic curves of a.c. commutator motors shall be plotted for the rated frequency and shall show the power factor as a function of current.

In the case of motors used for rheostatic or regenerative braking, the characteristics shall show the performance in this mode. Unless otherwise agreed, regenerative braking characteristics shall be drawn for a motor voltage corresponding to 1,1 times the nominal system voltage.

The declared braking characteristics may be derived either by calculation from the results of motoring tests or directly from tests in the braking mode.

5.5 Main generator characteristics

The characteristic curves shall show voltage as a function of load current. In the case of an a.c. generator intended to operate with a rectifier, the characteristics shall also show the output of the rectifier. A brushless alternator and its exciter shall be regarded as a single machine.

Characteristic curves shall be drawn corresponding to the generator input power available for traction at maximum 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.

Each curve shall be identified with its excitation condition, input power, generator speed and, if applicable, notch number. In addition, the efficiency on the full power characteristic shall be shown for at least two continuous ratings.

NOTE See 5.3 concerning the inclusion of excitation power in the losses when determining the efficiency.

Similar characteristics shall be drawn for the generators of main motor-generator sets, due account being taken of the characteristics of the driving motor and regulating equipment.

5.6 Auxiliary motor characteristics

Characteristic curves of speed, torque (or output power), efficiency and, in the case of a.c. machines, power factor shall be plotted as a function of motor current at the rated voltage and frequency.

Alternatively, and through agreement between the manufacturer and user, the characteristics may be plotted as a function of speed or output power.

Curves shall be drawn for each excitation condition employed in the application.

5.7 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 a.c. outputs shall be stated.

In the case of generators operating with a voltage regulator the characteristics shall be plotted at the nominal voltage and the range of excitation current stated.

A brushless alternator and its exciter shall be regarded as a single machine.

5.8 Auxiliary motor-generator set and rotary converter characteristics

The characteristic curves of output voltage, output power, machine speed, and input current shall be plotted as a function of output current with the machine supplied at minimum, rated and maximum voltage. The overall efficiency at the continuous rating shall be stated. The characteristics of a.c. machines shall show the power factor.

In the case of machines operating with a voltage or frequency regulator, the characteristics shall be drawn with the voltage or frequency at its nominal value. The range of excitation current shall be stated.

If the machine drives an external load, such as a blower, the power absorbed by this external load shall be shown or stated and the statement of overall efficiency shall be replaced by one of the total input power to the machine at the continuous rating.

6 Marking

6.1 Nameplate

All the machines covered by this part of IEC 60349 shall carry a nameplate visible when the machine is on the workshop floor. It shall include at least the following information:

- a) manufacturer's name;
- b) machine type designation;
- c) machine serial number;
- d) year of manufacture.

The machine serial number and, if applicable, rotation arrow, shall also be easily read when the machine is installed in the vehicle.

A serial number, or unique identification number, shall be punched on both the rotor and the stator of each machine.

6.2 Terminal and lead markings

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

7 Test categories and summary of tests

7.1 Test categories

7.1.1 General

There are three categories of tests:

- type tests;
- routine tests;
- investigation tests.

7.1.2 Type tests

Type tests are intended to establish the ratings, characteristics and performance of new types of machine. Where there is a change in place and/or method of manufacture, the user and manufacturer shall agree upon type tests to be repeated. In addition, tests to establish the declared characteristics shall be carried out on further machines in accordance with 8.2.

Unless otherwise agreed, the fully tested machine shall be one of the first ten manufactured.

A machine may be exempted from type tests if the manufacturer produces a record, acceptable to the user, of type tests already carried out on a machine of the same electromagnetic design for the same environmental conditions and at the same ratings.

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 type test report.

By agreement between manufacturer and user, more machines may be fully or partially type tested at intervals.

Type tested machines shall also be routine tested.

7.1.3 Routine tests

Routine tests are intended to demonstrate that each machine is sound both electrically and mechanically, and that it is essentially identical with the machine which has been type tested.

Routine tests as specified in Clause 9 shall normally be carried out on all machines but alternative tests may be agreed between user and manufacturer. It may also be agreed that only a proportion of machines chosen at random from those built on the order shall be fully routine tested, subject to overspeed and dielectric tests in accordance with 9.4 and 9.5 being carried out on all machines.

7.1.4 Investigation tests

Investigation tests are optional special tests performed to obtain additional information. They shall be carried out only if agreement between user and manufacturer has been reached

before placing the order. The results of these tests shall not influence the acceptance of a machine unless agreement to the contrary has been similarly reached.

7.2 Summary of tests

Table 1 lists the tests required for compliance with this standard.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-1:2010

Table 1 – Summary of tests

Class of machine (subclause 1.3)	Test	Tem- perature rise	Sound- ness	Characteristics				Commutation		Transient	Starting	Noise	Overspeed		Dielectric	Vibration		Commu- tator run-out	
				Type				Type	Routine				Type	Type		Type	Routine		Imbalance
	Test category (subclause 7.1)	Type	Routine	Type	Routine	Type	Routine	Type	Type	Type	Type	Type	Type	Type	Type	Type	Type	Optional	Routine
Clause or subclause																			
Traction motors (1.3.1)	Commutator	8.1	9.1	8.2.2	9.2.2	8.3.2	9.3.2	8.4.2*	8.6.2*			Annex C	NA	9.4.2	9.5	8.8	9.6	9.7	
	Wound rotor	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3	NA	NA	NA	NA				NA	9.4.2	9.5	8.8	9.6	9.7	
	Cage rotor	8.1	NA	8.2.3	9.2.3	NA	NA	NA	NA				8.7	NA	9.5	8.8	9.6	9.7	
Main Generators (1.3.2)	DC	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3	8.3.3	9.3.3	NA	NA		NA	Annex C	NA	9.4.3	9.5	8.8	9.6	9.7	
	AC	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3/4	NA	NA	8.5	NA				NA	9.4.3	9.5	8.8	9.6	NA	
Main motor- generator sets (1.3.3)	Motor	8.1	9.1	8.2.2	9.2.2	8.3.2*	9.3.2*	8.4.2*	8.6.3		Annex C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*		
	Generator	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3	8.3.3*	9.3.3*	8.5	NA				NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*	
Auxiliary motors (1.3.4)	Commutator	8.1	9.1	8.2.4	9.2.5	8.3.4	9.3.4	8.4.3/4*	8.6.4			Annex C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7	
	Wound rotor	8.1	9.1	8.2.4	9.2.5	NA	NA	NA	8.6.4				NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	NA	
	Cage rotor	8.1	9.1	8.2.4	9.2.5	NA	NA	NA	8.6.4				8.7	NA	9.5	8.8	9.6	NA	
Auxiliary generators (1.3.5)	DC	8.1	9.1	8.2.5	9.2.6	8.3.4	9.3.4	NA	NA		Annex C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7		
	AC	8.1	9.1	8.2.5	9.2.6	NA	NA	8.5	NA				NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	NA	
Auxiliary motor- generator sets Rotary converters (1.3.6)	Motor	8.1	9.1	8.2.6	9.2.7	8.3.4*	9.3.4*	8.4.3/4	8.6.4		Annex C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*		
	Generator	8.1	9.1	8.2.6	9.2.7	8.3.4*	9.3.4*	8.5	NA				NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*	
NA = Not applicable.																			
* Not applicable to all machines in the class; refer to relevant clause.																			
All machines, including those type tested, are to be routine tested																			

NA = Not applicable.

* Not applicable to all machines in the class; refer to relevant clause.

All machines, including those type tested, are to be routine tested.

8 Type tests

8.1 Temperature-rise tests

8.1.1 General

The tests shall be carried out at the guaranteed ratings except that the user and manufacturer may agree that main alternators be tested as follows:

- a) a test at the rated frequency with the terminals short-circuited and the excitation adjusted to give an output current deemed to produce practically the same stator winding temperature rise as would a load test at the continuous rating at lower voltage;
- b) a test at the rated frequency on open circuit with the excitation adjusted to the value specified for the continuous rating at higher voltage.

When the output of an alternator is rectified, it shall be type tested with its rectifier or with one having similar characteristics.

If one or more of the following conditions apply, the tests shall be carried out with voltage and current waveforms closely resembling those in service:

- 1) if the ripple factor of the load current in service exceeds 10 % of the guaranteed rating;
- 2) if the excitation is pulse controlled.

If it is not practicable to meet this requirement, a method taking into account the effect of the difference between the test and service supplies shall be agreed between user and manufacturer.

NOTE 1 In the case of machines operating on rectified single-phase alternating current at power frequency (50 Hz or 60 Hz) the tests may be carried out using the supply frequency of the place of manufacture whether or not this differs from that of the place of use, provided that the current ripple factor is not less than that in service. The error in the results will be negligible and correction will not be necessary.

NOTE 2 In the case of continuous rating tests, the time to attain steady temperatures may be shortened by commencing the tests 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 3 Steady temperature is defined as a change in temperature rise of less than 2 K during the final hour of test.

NOTE 4 If the declared excitation current differs from the specified value, the tests have to be carried out with the declared value.

8.1.2 Ventilation during temperature-rise tests

Machines shall be tested with the ventilation arranged as in service with all those parts in place which would affect its temperature rise, including any ducting and filters regarded as part of the vehicle or with an arrangement giving equivalent conditions.

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

In general, no cooling corresponding to that produced by the motion of the vehicle shall be provided, but in special cases, such as totally enclosed traction motors where this cooling is particularly important, it may be employed if agreed between manufacturer and user.

8.1.3 Judgement of results

The temperature rises of the windings, commutators or slip rings at the "commencement of cooling" shall not exceed the values given in Table 2.

8.1.4 Limits of temperature rise

The different thermal classes of insulating materials are defined in IEC 60085.

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

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

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

Part of machine	Method of measurement	Thermal class of Insulation system,			
		130(B)	155(F)	180(H)	200
Stationary winding or rotating field windings of alternators or synchronous motors	Resistance	130 K	155 K	180 K	200 K
All other rotating windings	Resistance	120 K	140 K	160 K	180 K
Commutators or slip rings (see note)	Electrical thermometer	120 K	120 K	120 K	120 K
Cage rotors Damping windings	Electrical thermometer	The temperature rise shall not be sufficient to endanger any windings or other parts			

For totally enclosed machines, limits of Table 2 are increased by 10 K.

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 user and manufacturer.

NOTE Commutator temperature is only one of many factors affecting commutation and, whilst in general commutation improves with reduction in temperature, this is not invariably the case.

8.1.5 Short-time overload temperature-rise test

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

At the conclusion of a previous rating test, the starting temperature rise given in Table 3 may be obtained by continuing to plot the cooling curve for the critical winding (see Note 1), until the time at which its temperature rise will reach the "start" value given in Table 3 (see Note 4) can be predicted by extrapolating the curve for a period not exceeding 5 min ahead of the last reading (see Notes 2 and 3). The specified overload shall be applied at this predicted time with normal ventilation conditions and shall be maintained for the specified duration, at which point the test shall be concluded and the temperature rise determined by resistance measurement in accordance with Clause A.5.

If the measured temperature rise is within 20 K of the final value given in Table 3, either the rated current or duration may be amended by calculation to a value estimated to give the Table 3 temperature rise.

If the measured temperature rise differs from the Table 3 value by more than 20 K, the test shall be repeated with amended values of either current or duration.

Table 3 – Temperature rise for short-time overload rating

Part of machine	Thermal class of Insulation			
	130(B)	155(F)	180(H)	200
Stationary windings or rotating field windings of alternators or synchronous motors – at start of test – final	85 K 130 K	100 K 155 K	120 K 180 K	130 K 200 K
All other rotating windings – at start of test – final	75 K 120 K	85 K 140 K	100 K 160 K	110 K 180 K

NOTE 1 The critical winding of commutator type machines is normally the armature. For polyphase machines it is normally the stator.

NOTE 2 If agreed between user and manufacturer, the temperature of other parts (e.g. the rotor cage, commutator, bearings, etc.) may be measured.

NOTE 3 For totally enclosed machines the temperature rises given in Table 3 should be increased by 10 K.

NOTE 4 An alternative method of obtaining the starting temperature rise may be employed if agreed between manufacturer and user.

8.2 Characteristic tests and tolerances

8.2.1 General

Tests to demonstrate compliance with the specified characteristics may be by any suitable method (examples being given in Annex B), load tests being carried out with the machine hot. Direct measurement of input and output shall be used only if measuring equipment of high accuracy is available. Efficiency values calculated from tests shall be corrected to the reference temperature, as shall other results if the correction is significant.

Characteristic tests on pulsating current machines may be carried out on d.c., in which case additional resistance losses due to pulsating current as given in Annex B shall be taken into account when calculating the efficiency.

Efficiency or loss tests are required only on those machines which are to be fully type tested as defined in 7.1.2.

Reversible machines shall be tested in both directions of rotation.

8.2.2 Commutator type traction motors

8.2.2.1 Sufficient test readings (for example four or five for each curve) shall be taken to enable declared characteristic curves corresponding to the specified characteristics to be plotted.

Declared speed/current curves shall be produced by plotting the average of the speeds of the first four machines tested. These averages shall not vary from the corresponding specified values by more than the design tolerances given in Table 4 and the speed of any individual machine shall not differ from the corresponding declared speed by more than the manufacturing tolerances listed in the same Table.

The declared torque/current curves shall be calculated from the speed/current curves using efficiency values derived from the type test.

NOTE 1 As stated in 5.4, declared braking characteristics may either be calculated from the declared motoring characteristics or be derived from tests in the braking mode. Braking characteristics are not toleranced, compliance of the machine with the specified basic electro-magnetic characteristics having been demonstrated in the motoring mode.

Table 4 – Tolerances on the speed of commutator type traction motors

Excitation condition or effective field ratio	Design tolerance %		Manufacturing tolerance %	
	Point Ch1	Point Ch2	Point Ch1	Point Ch2
Maximum	± 5	± 3	± 3,5	± 3
Between maximum and 50 %	± 6	± 4	± 5	± 3
Less than 50 %	± 7	± 5	± 7	± 5

Point Ch1 is the current shown on the relevant specified or declared curve at 80 % of the maximum working speed, or the minimum current shown if the speed at that point is less than 80 % of the maximum working speed (see Figure 1).

Point Ch2 is at 90 % of the maximum current shown on the relevant curve (see Figure 1).

Between these points the tolerances shall be linearly graded with respect to current.

Where the characteristics of a separately excited machine differ from Figure 1 such that Table 4 cannot be applied (for example a rising characteristic) the tolerance shall be agreed between manufacturer and user.

NOTE 2 Such a machine could be treated similarly to a main generator (see 8.2.3) in that the speed/current characteristic may be modified following the type test with the tolerance on speed for the routine test at the modified values. Any adjustment to the specified excitation should be within the capability of the control system and of the field winding guaranteed rating(s).

The tolerances shall be increased by 1 % in the case of motors with a guaranteed rated output below 75 kW.

The declared excitation currents of a separately excited motor and the effective field ratios of a series excited one may differ from the specified values provided they remain within the capacity of the excitation control equipment.

8.2.2.3 The losses at the guaranteed rating shall not exceed the value derived from the specified characteristic by more than 15 %.

NOTE When a conventional rather than a measured value is used for the transmission losses, the comparison between specified and declared losses should be based on the machine losses only.

8.2.3 Main generators (refer to Figure 2)

8.2.3.1 Alternators designed to operate with rectified output shall normally be tested with a suitable rectifier. A brushless alternator and its exciter shall be regarded as a single machine.

If it is not practicable to test main alternators at full power, suitable open-circuit and short-circuit tests shall be carried out to prove the characteristics and determine the efficiency by summation of losses method, in accordance with Annex B. The details of the tests shall be agreed between user and manufacturer.

8.2.3.2 In the case of a regulated generator, sufficient readings shall be taken to enable declared characteristic curves corresponding to the specified characteristics to be plotted directly from the readings or by calculation from the results of open-circuit and short-circuit tests. The curves shall be based on the average of tests on the first four machines.

At this stage the manufacturer shall be free to modify the excitation values, the new values being maintained for all subsequent tests. It shall also be demonstrated that the excitation

required to produce the declared characteristics is within the capacity of the regulating equipment.

The maximum current and the maximum voltage shown on the regulated portion of the full power declared characteristic (points Ch1 and Ch2) shall not vary from the corresponding values on the specified curves by more than $\pm 5\%$.

8.2.3.3 In the case of an inherent characteristic generator, sufficient readings shall be taken on the first four machines tested to enable the declared characteristics to be plotted as the average of the four results. The excitation values may be modified from those of the specified curves, but the revised values shall then be retained for all subsequent tests.

The declared maximum current, the voltage at the rated current and the open-circuit voltage (points Ch1, Ch2 and Ch3) shall not vary from the corresponding values on the specified curve by more than $\pm 5\%$.

8.2.3.4 For both regulated and inherent characteristic generators the losses at the two continuous ratings (defined in 3.1.2) shall not exceed the specified value by more than 15 %.

8.2.4 Auxiliary motors

Sufficient readings shall be taken on the first four machines tested to enable declared characteristic curves corresponding to the specified characteristics to be derived from the average of the readings.

In addition, declared speed and torque (or output) curves shall be determined at the maximum and minimum machine voltages if these differ by more than $\pm 5\%$ from the rated value.

The declared characteristic curves for current values between 0,8 and 1,2 times the guaranteed rating shall not differ from the specified characteristics by more than $\pm 5\%$.

The losses at the guaranteed rating shall not exceed the specified value by more than 15 %.

8.2.5 Auxiliary generators

Sufficient readings shall be taken on the first four machines tested to enable declared characteristic curves corresponding to the specified characteristics to be derived from the average of the readings. For machines operating with a voltage regulator, at least one of these tests shall be carried out with the regulator in circuit.

The declared output voltage of an unregulated generator shall not differ by more than $\pm 5\%$ from the specified characteristic at any point between open circuit and the guaranteed rating. The tolerance on the voltage of a regulated generator is a function of the regulator characteristics and not that of the machine. The excitation currents may differ from the specified values provided they remain within the capacity of the regulator.

The losses at the guaranteed rating shall not exceed the specified value by more than 15 %.

In addition, the open-circuit and short-circuit characteristics of alternators shall be measured at the rated speed and the average characteristics drawn to form the basis for routine test evaluation.

8.2.6 Auxiliary motor-generator sets and rotary converters

Sufficient readings shall be taken on the first four machines tested to enable declared characteristic curves corresponding to the specified characteristics to be derived from the average of the readings. In the case of regulated machines, at least one test shall be carried out with the regulators in circuit.

For unregulated machines, the declared output voltage characteristic shall not differ from the specified characteristic by more than $\pm 5\%$ at any point between open circuit and the rated current. Unless specified otherwise, the speed-current characteristic is not toleranced.

The tolerances on the voltage and frequency of a regulated machine are functions of the characteristics of the regulators and not those of the machine.

The exciting current of a regulated machine operating at any point on the declared characteristic shall be within the declared range. This may differ from the specified range provided the revised values are within the capacity of the regulator.

The losses of the machine at the guaranteed rating shall not exceed the specified value by more than 15 % except for machines driving an external load, in which case the input at the guaranteed rating shall not exceed the specified value by more than 5 %.

8.3 Commutation tests

8.3.1 General

Commutation test results shall be recorded in accordance with IEC 60638. The tests shall be withstood by the machines without mechanical deterioration, flashover or permanent damage, permanent damage being that which would affect the satisfactory operation of the machine after completion of the test.

The tests shall be carried out with the machine hot, each test point being held for not more than 30 s. If a machine shows signs of excessive heating following the test points at high current, it may be run for a period at low current to cool it to a more normal operating temperature.

Machines which operate with separate or compound excitation shall be tested with the appropriate excitation conditions for each point.

Machines shall be tested in each direction of rotation which occurs in service for the particular application. The brushes shall not be disturbed between tests in different directions of rotation.

The tests may be carried out in any desired sequence of currents and rotations. Whenever rotation is reversed, the machine may be run in the new direction for not more than 15 min at a current and speed chosen to achieve acceptable contact conditions between the brushes and the commutator.

Machines tested in one direction only shall have run for a sufficient time to ensure that the brushes are fully bedded in before each test point.

Alternating and pulsating current motors shall normally be tested at the rated frequency for a.c. motors, and at the service pulsation frequency and current ripple factor for pulsating current motors. In certain cases, the frequency may be altered in accordance with Note 1 to 8.1.1.

8.3.2 Traction motors (refer to Figure 1)

Commutation tests shall be made at the following points.

- Commutation point number 1 (Com1): at the maximum speed shown on the characteristic with the motor taking the highest current which can normally be drawn at this speed in service.
- Commutation point number 2 (Com2): at the guaranteed rating current.

- Commutation point number 3 (Com3): at the maximum current shown on the relevant curve.

Tests Com2 and Com3 shall be carried out at the maximum and minimum excitation used at these points in service.

The test voltage shall be chosen as follows:

- for motors supplied either directly or indirectly from a contact system:
 - the voltage corresponding to the highest voltage of the system;
- for motors for thermo-electric vehicles:
 - the voltage at the motor terminals when operating on the full power characteristic of the main generator;
- for motors supplied from a battery:
 - the voltage corresponding to the no-load voltage of a fully charged battery.

If, in carrying out tests Com2 and Com3 at the voltage specified above, the motor speed is higher than that for Com1, the voltage shall be reduced to give the latter speed.

If, in any of the above cases, the maximum voltage which can be applied to the motor is limited by control means, the tests shall be carried out at the limited voltage.

In addition, for series excited motors permanently connected in series without either mechanical coupling or automatic anti-slip protection, a commutation test shall be made at maximum field with the load current adjusted so that the motor runs at its maximum working speed when supplied at 1,5 times its rated voltage for a line or battery supplied motor, or at 1,5 times its maximum voltage for a thermo-electric vehicle motor.

NOTE Equipment which only indicates the presence of wheelslip and leaves corrective action to the driver is not sufficient to give exemption from the test.

Motors used for regenerative or rheostatic braking shall be tested at a reasonable number of values (for example four or five) of speed and current within the envelope of the braking characteristic curves.

If the regenerative or rheostatic braking circuit used in service is such that the unidirectional current ripple is greater than 10 %, commutation tests in the braking mode shall be carried out under conditions closely resembling those in service.

8.3.3 Main generators (refer to Figure 2)

Commutation tests shall be made at the following points on the full power characteristic as shown in Figure 2.

- Com1: the maximum current;
- Com2: the current at the continuous rating at lower voltage;
- Com3: the current at the unloading point or, for an unregulated generator, 50 % of the current for test Com2.

8.3.4 Auxiliary motors and generators and motor-generator sets

Commutation tests shall be carried out at not more than four points chosen to cover the whole extent of the machine characteristic at the maximum and minimum voltages as defined in 3.5.

8.4 Transient tests

8.4.1 General

Transient tests shall be carried out on d.c. and pulsating current motors supplied directly or indirectly from a contact system. They are not required if the supply to the machine includes electronic equipment which limits the current on re-connection after an interruption or following a voltage jump to a value not exceeding the maximum shown on the characteristic.

The machine shall withstand each test without mechanical deterioration, flashover or permanent damage, permanent damage being that which would prevent successful operation of the machine after the test.

It is recognized that for motors of high power, limitations of the test plant may prevent full compliance with the specified test procedure. In such cases, the manufacturer and the user shall agree on a modified procedure.

8.4.2 Traction motors and motors of main motor-generator sets

The test shall be made using a manual or automatic switch to interrupt the supply from the contact system when the motor is taking its guaranteed rated current followed by reconnection about 1 s after switching off.

If the normal circuit includes an automatic device to insert resistance or otherwise protect against excessive current on reconnection, the test shall be carried out with this device in circuit, or with a time interval equal to the operating time of the device.

The speed of rotation of the motor shall be maintained as constant as possible during the period of interruption.

If field weakening is effected by a single method (field diversion, tap changing or, in the case of separate excitation, regulation of current), the test shall be carried out three times at maximum field and three times at minimum field, at intervals of a few minutes, using field weakening devices identical or equivalent to those employed in service.

If, however, field weakening is obtained on some notches by one method and on other notches by a different one, the test shall be carried out three times at the maximum excitation and three times at the minimum excitation of each of the field weakening methods.

It shall be confirmed by a suitable transient recorder that at the instant of re-connection the motor terminal voltage (or, if an inductor is permanently connected in series with the motor, the voltage across the motor and inductor) is at least that corresponding to the highest system voltage, and that the voltage does not subsequently fall below 0,9 times the value corresponding to the nominal system voltage.

8.4.3 Auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters

The tests shall be carried out with the motor equipped with control and protective gear simulating the normal service conditions. In the case of a motor-generator set the circuit shall include the voltage and frequency regulators.

The supply shall be interrupted and restored four times in succession, allowing the normal load conditions to be re-established between successive interruptions, the motor operating at its guaranteed rating with the weakest field that can be obtained at this point in service. Two tests shall be made with an interval of approximately 1 s between interruption and restoration and two with an interval marginally less than the operating time of the protective equipment. The supply voltage conditions shall be as defined in 8.4.2.

In the case of machines which can feed back into the main circuits of the vehicle during interruptions of supply, this condition shall be simulated by short-circuiting the machine during the interruption, or by other suitable means. This is not required if the normal circuit includes means (such as a diode), to positively prevent feedback.

8.4.4 Voltage jump test on auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters

The machine shall be supplied at its minimum voltage through a series resistance which, when short-circuited, will cause the voltage to rise to the maximum value. The machine's normal control and protective gear, including the generator voltage regulator, shall also be in the circuit.

The test shall be carried out five times in succession, the minimum voltage conditions being restored between each voltage jump. It shall be confirmed by a transient recorder that the supply voltage, after the resistance is short-circuited, does not fall below that corresponding to the nominal system voltage.

Auxiliary motors driving mechanical loads shall be tested at the load normally imposed on the motor when operating at minimum voltage and field.

Motor-generator sets shall be tested with the generator delivering its guaranteed rated power or the maximum power it is capable of supplying at the minimum input voltage if this is less than the guaranteed rating.

8.5 Short-circuit tests on main and auxiliary alternators

Main and auxiliary alternators shall be subjected to tests which simulate fault conditions, using a test circuit which includes the protection and means of excitation provided in service or their equivalents.

Each test shall consist of a short circuit applied for 5 s with the machine operating at its rated speed on open circuit with the guaranteed rated value of excitation current.

At the conclusion of each test, it shall be shown that the protection has operated and that the machine has suffered no electrical or mechanical damage.

The short circuit shall be applied as follows:

- alternators supplying a mainly rectified output:
one test shall be made with the full rectifier bridge short-circuited and another with one bridge arm short-circuited;
- alternators supplying mainly a.c. loads:
one test shall be made with all phases short-circuited together and another with a single line-to-line short circuit or, in the case of a system with solidly earthed neutral, a single line-to-neutral short circuit.

8.6 Starting tests

8.6.1 General

The following types of machine shall be subjected to starting tests:

- a) single-phase a.c. commutator motors intended for driving locomotives and other vehicles intended for similar haulage duties;
- b) main motor-generator sets;
- c) auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters.

8.6.2 Single-phase a.c. locomotive motors

Unless otherwise agreed when placing the order, the motor shall be run at its maximum current for 1 min when hot. The power supply shall be at the rated frequency with the voltage adjusted so that the motor rotates at about 5 % of its maximum working speed. The ventilation shall be equivalent to that when in service.

The test shall be carried out in both directions of rotation and shall not cause any permanent damage to the commutator, permanent damage being defined as that which would affect the subsequent satisfactory operation of the machine.

8.6.3 Main motor-generator sets

The tests shall be carried out with the normal starting and protective gear and, in the case of a.c. motors, at the rated frequency.

Machines intended to operate on pulsating current or with pulse control shall be tested with supply conditions closely resembling those in service.

The motor shall be subjected to two successive starts at minimum voltage followed by two at maximum voltage with a 5 min interval between each start. It shall be loaded so that the torque developed is approximately the same as when starting under service conditions.

The starting performance shall be satisfactory with no excessive temperature rise of any part of the machine, flashover or permanent damage to the commutator. During the tests at maximum voltage the machine voltage shall not fall below 0,9 times the maximum value as defined in 3.4. If test plant limitations prevent this being attained the manufacturer and the user may agree on an alternative procedure.

8.6.4 Auxiliary motors, auxiliary motor-generator sets and auxiliary rotary converters

The tests shall be carried out with the normal starting and protective gear and, in the case of a.c. motors, at the rated frequency.

Machines intended to operate on pulsating current or with pulse control shall be tested with supply conditions closely resembling those in service.

The motor shall be subjected to five successive starts at minimum voltage followed by five at maximum voltage with an interval of 2 min between starts. It shall be loaded so that the torque developed is approximately the same as when starting under service conditions.

The performance and supply capacities shall be as specified in 8.6.3.

8.7 Overspeed tests

Unless agreed otherwise, overspeed tests are type tests only on machines other than commutator and wound rotor machines. Details of the tests are given in 9.4.

8.8 Vibration tests

8.8.1 Internally generated vibration characteristics

A quantitative vibration measurement is to be taken as a type test.

For vibration measurement during type test the machine can simply be placed 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.

NOTE The effect of externally generated vibrations on the machine is outside the scope of this standard. Reference should be made to IEC 61373.

9 Routine tests

9.1 Short-time soundness test

9.1.1 General

A short-time soundness test shall be carried out on all machines except those with cage-type rotors.

9.1.2 Test conditions

The machine shall be run on load, normally for 1 h starting cold, the test conditions (voltage, current, excitation and ventilation) being chosen to give final winding temperature rises reasonably close to those obtained at the end of the guaranteed rating type test.

Motors which operate in service on pulsating current shall be tested on direct current.

AC generators may be tested on short circuit. If the output of an a.c. generator is to be rectified, the test may be carried out without the rectifier.

Machines may be tested in pairs, one acting as a motor and the other as a generator.

The method of measuring temperature and resistance shall be in accordance with Annex A, except that the plotting of heating and cooling curves shall be as detailed in 9.1.3.

9.1.3 Plotting of heating and cooling curves

Heating or cooling curves shall be plotted as for the type test on the first ten machines of an order. The curves for each winding of the first four machines tested shall be averaged to provide a temporary basis for acceptance or rejection of further machines until ten have been tested. The "declared heating or cooling curve" for each winding shall then be the average of the ten tests.

If machines are tested in pairs, separate averages shall be established for generators and motors.

On subsequent tests, a single resistance value or temperature measurement normally taken within 1 min of the commencement of cooling is sufficient. The time at which this reading is

taken shall be recorded to enable the result to be compared with the corresponding declared curve and may be extended beyond 1 min in accordance with Clause A.4.

9.1.4 Judgement of results

A machine will be deemed to have passed the routine soundness test if the temperature rises, at the recorded time from the commencement of cooling, do not vary from the declared curve values as defined in 9.1.3 by more than $\pm 8\%$ or $\pm 10\text{ K}$, whichever is the greater.

NOTE If the declared curve temperature rises have been established close to the limits given in Table 2, it is possible, and acceptable, for the results of individual routine tests to exceed these limiting values.

If a machine exceeds the declared curve temperature rise by more than the permitted amount, it may be given a type test at its guaranteed rating and shall be accepted if it passes that test.

Within an order, variation in material quality within permitted limits may cause a noticeable drift in average temperature rises. Should this result in frequent failure to pass the routine tests despite successful performance on subsequent type tests, a new declared curve may be established which shall not be more than 5 % higher than the previous one.

9.2 Characteristic tests and tolerances

9.2.1 General

The tests may be carried out by any suitable method with the machine hot. The readings need not be corrected to the temperature of reference unless not so doing would result in the machine being rejected.

Efficiency tests are not required, nor are tests in the braking mode.

Machines which operate, in service, on pulsating current shall be tested on direct current and machines intended for a synthesized polyphase supply shall be tested on sinusoidal alternating current.

Reversible machines shall be tested in both directions of rotation.

9.2.2 Commutator type traction motors (see Figure 1)

Speed readings shall be taken at points Ch1 and Ch2 for the maximum and minimum excitation conditions. In the case of separately excited motors, curves shall be drawn for constant excitation and a reading at point Ch2 only is sufficient.

The speeds shall not vary from the declared values by more than the manufacturing tolerances given in Table 4.

9.2.3 Main generators (refer to Figure 2)

In the case of a regulated generator, readings shall be taken at the following points on the full power regulated curve with the separate excitation currents at the corresponding values established by the type test:

- Ch1: at the maximum current on the regulated portion of the declared characteristic;
- Ch2: at the maximum voltage on the regulated portion of the declared characteristic.

The maximum current and maximum voltage shall not vary from the corresponding values on the declared curve by more than $\pm 5\%$.

NOTE If the maximum current shown on the declared characteristic is on the regulated portion of the characteristic, the tolerance on current does not apply, it being sufficient to demonstrate that the excitation current is within the declared limits at the maximum load current.

In the case of an inherent characteristic generator, readings shall be taken at the following three points on the highest power curve:

- Ch1: the voltage corresponding to maximum current;
- Ch2: the rated current at lower voltage;
- Ch3: open circuit.

The maximum current at point Ch1 and the voltages at points Ch2 and Ch3 shall not vary from the declared values by more than $\pm 5\%$.

9.2.4 Alternative tests for alternators

These shall consist of open-circuit and short-circuit tests.

The open-circuit voltage and short-circuit current shall not vary from the values established during type testing by more than $\pm 5\%$.

9.2.5 Auxiliary motors

The speed of commutator type machines shall be measured at the guaranteed rating with maximum field and shall not differ from the declared value by more than $\pm 5\%$.

The slip of asynchronous machines shall be measured at the guaranteed rating and shall not vary from the declared value by more than $\pm 20\%$.

9.2.6 Auxiliary generators

For unregulated d.c. generators the voltage at open circuit and at the rated current shall be measured with the machine operating at the rated speed. These voltages shall not vary from the declared values by more than $\pm 5\%$.

For regulated d.c. generators, the excitation currents required to generate the rated voltage at open circuit at maximum speed and at maximum load and minimum speed shall be measured. They shall not vary from the declared values by more than $\pm 5\%$.

For a.c. generators, the open-circuit voltage and short-circuit current at rated speed shall be measured at two specified values of excitation which, unless otherwise agreed, shall be 100 % and 50 % of the maximum excitation current. The voltages and currents shall not vary from the values established during type tests by more than $\pm 5\%$.

The tolerance specified for machines operating with a regulator may be widened provided that the declared output voltage characteristic can be obtained within the capacity of the regulator and that the field winding temperature rise meets the requirements of the soundness test.

9.2.7 Auxiliary motor-generator sets and converters

For unregulated sets, the output voltage and machine speed shall be measured with the set supplied at the maximum and minimum voltage with the generator open circuit and also when delivering its rated output current. In the case of an a.c. generator, the output shall be at the specified power factor. The output voltage and, if applicable, frequency shall not vary from the corresponding declared curve values by more than $\pm 5\%$.

For regulated sets, a maximum of four sets of readings shall be taken at points chosen to confirm that any point on the declared characteristic can be met within the capacity of the regulating equipment. Normally measurements at maximum supply voltage and no load on the one hand, and at minimum supply voltage and maximum load on the other hand are sufficient, but in some cases additional measurements may be desirable. The tolerances on voltage and

frequency depend on the regulators and not the machine. The input current at the load test points shall not vary from the corresponding declared value by more than $\pm 5\%$.

9.3 Commutation routine tests

9.3.1 General

The general requirements for commutation routine tests are the same as those given in 8.3 for type tests except that pulsating current motors may be tested on direct current.

9.3.2 Traction motors (refer to Figure 1)

Traction motors shall be tested at points Com1, Com2 and Com3 at the minimum excitation used at these points in service.

An additional test for motors connected permanently in series is not required nor are braking tests.

9.3.3 Main generators (refer to Figure 2)

Main generators shall be tested at points Com1 and Com2.

9.3.4 Auxiliary motors and generators and motor-generator sets

Motors shall be tested at their maximum voltage at a current 1,5 times the guaranteed rating or at the maximum current for the particular application if this is the lesser. The speed shall be the maximum attainable in normal service for the test conditions.

Generators (including those forming part of a motor-generator set) shall be similarly tested but at the nominal output voltage for the test conditions.

Motors of motor-generator sets shall be tested at their minimum voltage with the generator supplying the maximum output attainable in normal service for the test conditions.

9.4 Overspeed tests

9.4.1 General

Overspeed tests are routine tests for all commutator and wound-rotor machines and unless agreed otherwise, are type tests for other types of machine. Machines shall be run for 2 min when hot at the speeds specified in 9.4.2 to 9.4.5, after which they shall show no permanent deformation and shall pass the dielectric tests specified in 9.5.

9.4.2 Traction motors

Traction motors shall be tested at 1,2 times the maximum working speed as defined in 3.7.1.

Where two or more series excited motors are permanently connected in series with no mechanical coupling, the overspeed shall be increased to 1,3. Where wheelslip protection is provided the factor may remain at 1,2 if agreed between user and manufacturer.

NOTE Equipment which only indicates the presence of wheelslip and leaves corrective action to the driver is not sufficient to give exemption from the increased overspeed factor.

9.4.3 Main or auxiliary engine-driven generators

Main or auxiliary engine-driven generators shall be tested at 1,2 times the maximum working speed as defined in 3.6.2.

9.4.4 Generators driven by a vehicle axle

Generators driven by an axle shall be tested at 1,2 times the maximum working speed defined in 3.6.3.

9.4.5 Main or auxiliary motor-generator sets, auxiliary converters and auxiliary motors

Main or auxiliary motor-generator sets, auxiliary converters and auxiliary motors shall be tested at 1,2 times the maximum working speed defined in 3.6.4.

9.5 Dielectric tests

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

The test voltage shall be applied between the windings of each circuit and the frame with the windings of all other circuits connected to the frame. It shall be applied only to new machines with all their parts in place as under normal working conditions.

The test shall be carried out immediately after the routine tests specified in the preceding clauses.

The test voltage shall be applied gradually, commencing at not more than one-third of the final value given in Table 5. The final value, when reached, shall be maintained for 60 s.

Table 5 – Dielectric test voltages

Group	Winding	Test voltage
1	a) Windings directly connected to the contact system. b) Windings connected to the contact system through a transformer rectifier or chopper without an intermediate circuit	AC test: $2,25 U_1 + 2\,000\text{ V}$ DC test: $3,825 U_1 + 3\,400\text{ V}$
2	Windings not connected to the contact system (except group 3)	AC test: $2 U_2 + 1\,000\text{ V}$ with a minimum of $1\,500\text{ V}$ DC test: $3,4 U_2 + 1\,700\text{ V}$ with a minimum of $2\,550\text{ V}$
3	Field windings of a.c. generators	AC test: $10 U_3$ with a minimum of $1\,500\text{ V}$ and a maximum of $3\,500\text{ V}$ DC test: $17 U_3$ with a minimum of $2\,550\text{ V}$ and a maximum of $5\,950\text{ V}$
U_1 is the highest voltage to earth which can be applied to the winding when the contact system is at nominal voltage. U_2 is the highest voltage to earth which can be applied to the winding in normal service. U_3 is the highest excitation voltage.		
NOTE 1 Motors supplied by a transformer/rectifier from an a.c. supply or by a chopper from a d.c. system are within group 1. NOTE 2 The test voltages are r.m.s. values, as are U_1 , U_2 and U_3 for alternating voltages. For unidirectional voltages, including the output of pulse control systems, U_1 , U_2 and U_3 are the arithmetic means of the waveforms. NOTE 3 If the winding voltage is not normally earth referenced then U_1 , U_2 and U_3 should be taken as the highest voltage that can appear on the winding, should any point in its circuit become connected to earth. NOTE 4 In determining U_1 and U_2 , consideration should also be given to the voltage which may appear within the circuit due to the control system and the characteristics of the protection devices.		

9.6 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 throughout its operating speed range when mounted on the test bed, and the standard of balancing should be that it is achieved.

In applications where machine vibration is considered critical, if agreed between user and manufacturer, the test detailed in 8.8 can be carried out on each machine.

9.7 Commutator radial run-out measurement

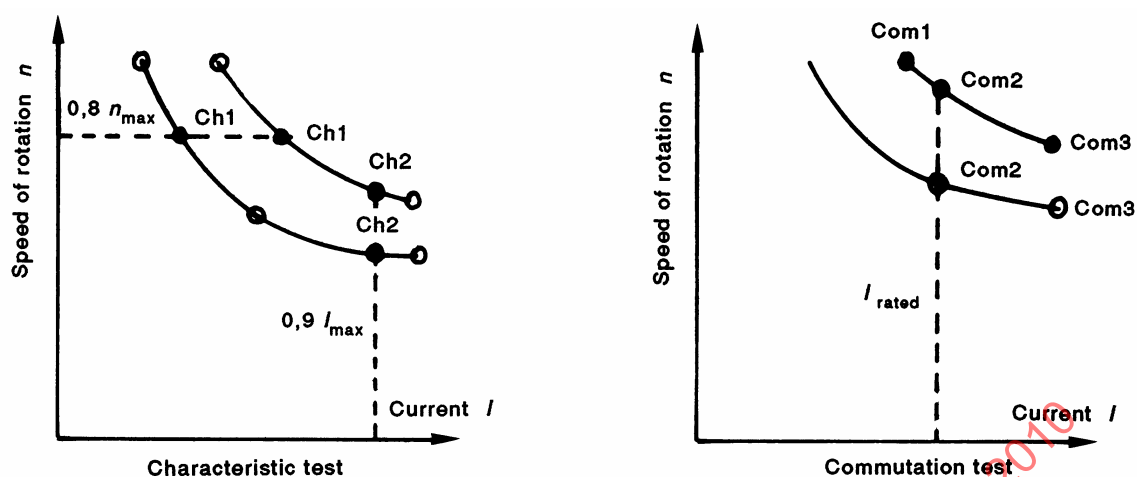
If specified by the user a commutator radial run-out measurement shall be taken immediately after completion of the routine test. Where practicable, it shall be carried out using an instrument that gives a permanent record.

The radial run-out is the difference between maximum and minimum bar heights following measurement of each bar on the commutator. The values shall not exceed the values given in Table 6 and there shall be no abrupt changes in profile.

In certain cases, it may be necessary to specify lower limits than those given in Table 6 and in others (such as low speed auxiliary machines), acceptable commutation can be obtained with higher run-outs. In such cases, modified limits shall be agreed between manufacturer and user.

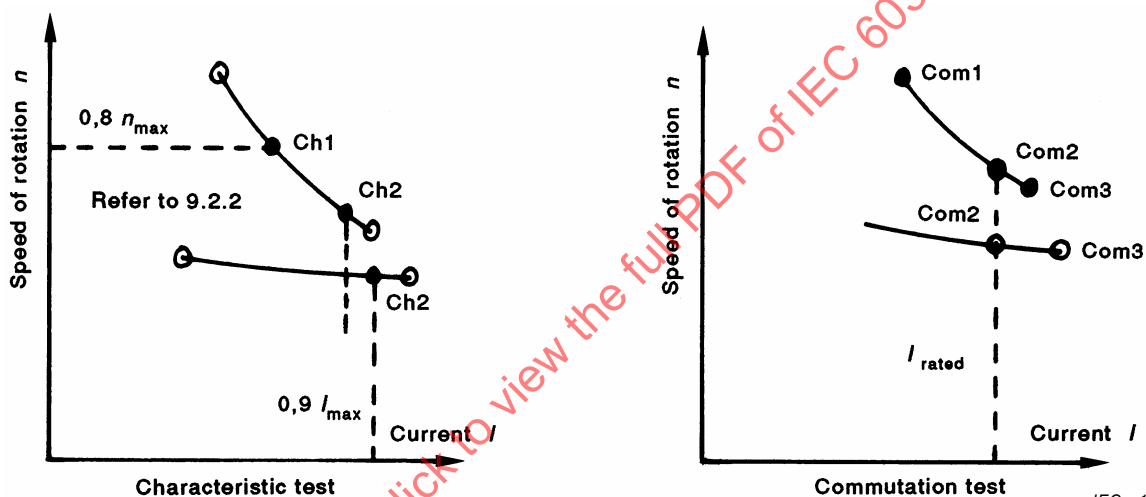
Table 6 – Limits of commutator radial run-out

Commutator diameter	Maximum radial run-out mm
Up to 400 mm	0,03
400 mm to 800 mm	0,04
Over 800 mm and all single-bearing or overhung machines	0,06



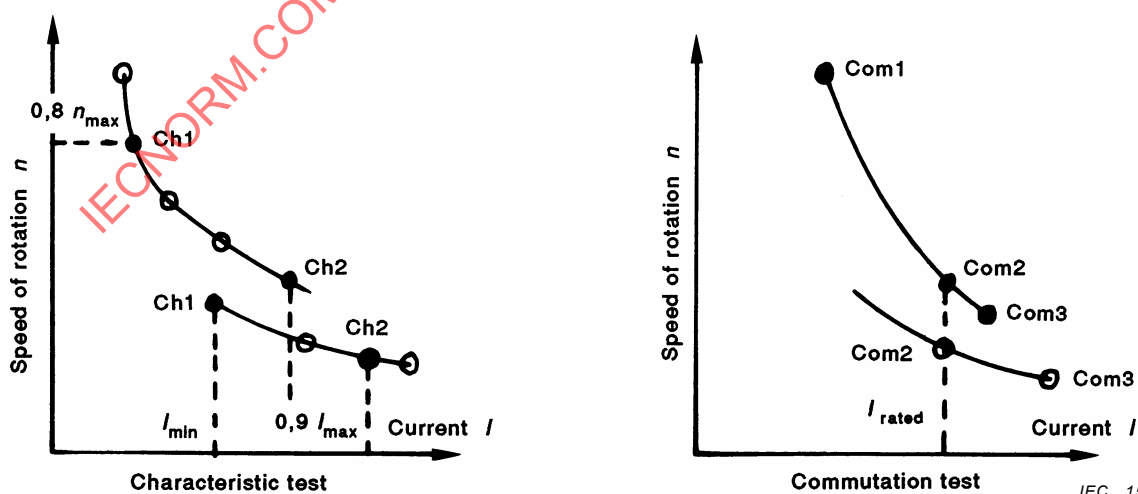
IEC 1556/99

Figure 1a) – Series motor supplied from a contact system



IEC 1557/99

Figure 1b) – Separately excited or compound motor supplied from a contact system



IEC 1558/99

Figure 1c) – Thermoelectric vehicle motor

- KEY
- Type test point
 - Type and routine test point

Figure 1 – Commutator type traction motor test points

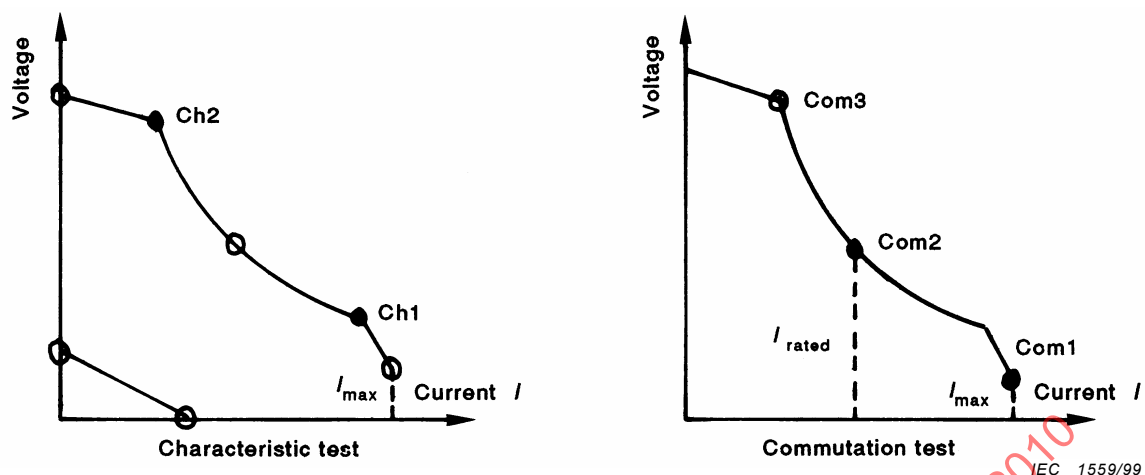


Figure 2a) – Regulated generator

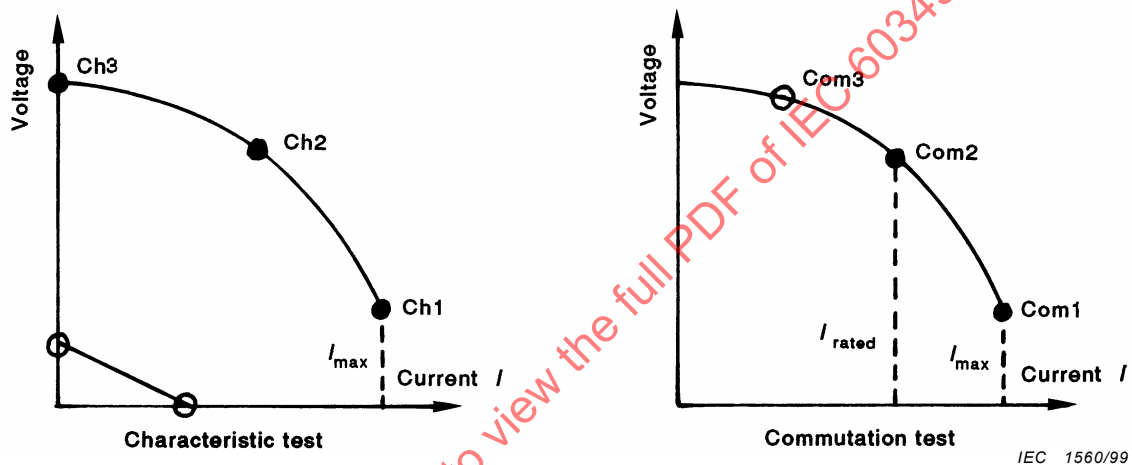


Figure 2b) – Inherent characteristic generator

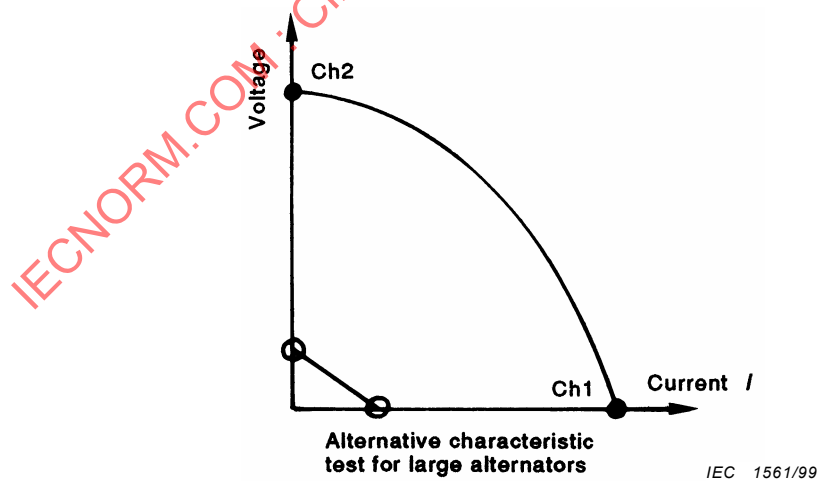


Figure 2c) – Alternative characteristic test for large alternators

- KEY
- Type test point
 - Type and routine test point

Figure 2 – Main generator test points

Annex A (normative)

Measurement of temperature

A.1 Temperature of the machine parts

Two methods of measuring the temperature of machine parts shall be used:

- a) the resistance method for insulated windings;
- b) the electrical thermometer method for commutators, slip-rings and permanently short-circuited uninsulated windings.

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, for a type test, the temperature of the cooling air is outside these limits, 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 windings are within 4 K of the temperature of the cooling air. When calculating the winding temperature rises, any difference in initial temperature up to 4 K shall be subtracted from the results if the winding is the hotter or added to it if it is the cooler.

Resistance method

In this method, the temperature rise of the windings is determined by their increase in resistance.

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 initial 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 considered.

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 cooling air

For totally enclosed machines, without external fan ventilation, 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 from it.

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

In both cases, the thermometers shall be protected from radiated heat and draughts so that they record the true temperature of the air entering or around the machine. 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 intervals of approximately 15 min during the last hour of a continuous rating test or throughout the duration of a 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 the 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

If it is practicable to measure the voltage drop in a winding carrying direct current whilst the machine is operating, the resistance shall be calculated from such measurements taken at intervals during the test with the winding carrying the test current.

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

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.) When measuring armature resistance the current shall be fed to the commutator through the brushes, and the voltage shall be measured between a pair of marked bars lying between two brush arms and covering a span of at least half the number of commutator bars per pole.

When a bridge is used, the voltage probes shall be placed as for the volt-amp method. For windings with equalizing connections, the current probes shall be applied at the brush positions adjacent to the voltage probes.

For type tests, the same pair of marked bars shall be used for cold and hot readings, unless it is demonstrated that the difference in resistance between pairs of equally spaced bars distributed around the commutator is negligible.

A.4 Stopping of machines and time of "commencement of cooling"

At the end of a test, machines 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 which case the "commencement of cooling" shall be the instant when the main circuits are opened immediately before braking, any separate ventilation being cut off at this instant.

If such a method is impracticable, methods in which the test machine carries current may be used provided that they stop the machine quickly and that 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 ventilation shall be cut off.

For large machines which it is not practicable to stop in time to permit resistance measurements to commence within 45 s of the "commencement of cooling", special braking arrangements and an extension of time to not more than 2 min shall be agreed between user and manufacturer. It may also be agreed that this maximum time limit shall apply if special brushes are installed when taking cooling curves.

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

- a) For resistances measurable while the machine is operating, the last measurements shall be made just before the end of the temperature-rise test. In the case of a short-time test, they shall be taken not more than 10 s before braking commences.
- b) Resistance measurements of each winding not measurable while the machine is operating shall commence not later than 45 s after the "commencement of cooling" (see 8.1.5 for exceptions) and shall be continued for at least 5 min.

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

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 being extrapolated to the time of "commencement of cooling" to give the temperature rise at the end of the test.

Annex B (informative)

Methods of determining losses and efficiency

B.1 General

This Annex describes some of the methods by which the losses and efficiency of machines covered by this standard may be determined. It is not intended as a complete treatise on machine testing and should be regarded as an extension of IEC 60034-2-1 to meet requirements specific to traction machines.

Whichever method of test is adopted the following conditions should apply:

- a) the load remains constant for at least 10 s before the instrument readings are recorded;
- b) winding resistances are measured immediately before and after each series of measurements (e.g. the readings in full field in one direction of rotation forming a series) to enable the efficiency to be corrected to the 150 °C reference temperature (see 5.2). For the purpose of this correction, the resistances of the windings during a series of readings is taken as the arithmetic mean of the above two measurements;
- c) the total brush contact voltage drop (U_c) is taken as 3 V if the brushes do not have flexible connections to the brush holders and 2 V if connections are fitted;
- d) for reversible machines the efficiency at a given current is taken as the arithmetic mean of the efficiencies for each direction of rotation;
- e) when the efficiency characteristic of a traction motor takes account of transmission losses these should preferably be verified by test. When this is not practicable, the conventional values given in this Annex are assumed unless other values are given on the characteristic.

B.2 Symbols

The following symbols are used throughout this Annex:

U_m	=	motor terminal voltage
U_g	=	generator terminal voltage
U_b	=	booster terminal voltage
U_l	=	supply voltage
U_f	=	motor series field voltage
U_c	=	total contact voltage drop at the positive and negative brushes of the machine
I_m	=	motor current
I_g	=	generator current
I_b	=	booster current
I_l	=	line current
i_s	=	separately excited field current
i_m	=	motor shunt field current
i_g	=	generator shunt field current
R_m	=	sum of the motor armature, commutating and compensating winding resistances
R_g	=	sum of the generator armature, commutating and compensating winding resistances
r_m	=	motor series field resistance
r_g	=	generator series field resistance

- r_s = resistance at the reference temperature (150 °C) of the separately excited field including any external resistance normally in circuit
 r_{sh} = resistance at the reference temperature of the shunt field including any external resistance
 P_l = line power output
 P_{lr} = output power of the motor providing the rotational losses
 P_{lt} = total losses
 P_{cm} = commutating and series field losses in the motor
 P_{cg} = commutating and series field losses in the generator
 P_{sm} = motor series field losses
 P_m = motor power input
 P_a = alternating or ripple component of pulsating current motor power input
 P_f = total excitation power (motor + generator)
 R = sum of the resistances at the test temperature of all windings carrying the load current (see Clause A.1)
 R_t = R corrected to the reference temperature

The following abbreviations are used in the circuit diagrams:

- M = motor
 G = generator
 B = booster
 LM = motor supplying rotational losses

Voltmeters and ammeters are not shown nor are wattmeter shunts.

B.3 Correction of results to the reference temperature

The formulae given in Clause B.4 correct the efficiency to the reference temperature by the inclusion of terms $2(R - R_t) I_m^2$ or $2(R - R_t) I_g^2$ as appropriate. Correction of the losses in separately excited and shunt windings is not necessary because these are calculated at the reference temperature.

B.4 Regenerative methods

B.4.1 General

Regenerative methods are based on the coupling of two identical machines, one of which acts as a motor and the other as a generator. The circuits are such that the excitation of both machines is as near equal as practicable; hence the losses dependent on magnetic flux can be regarded as being equally divided. The formulae give the efficiency at the reference temperature.

B.4.2 Parallel connection

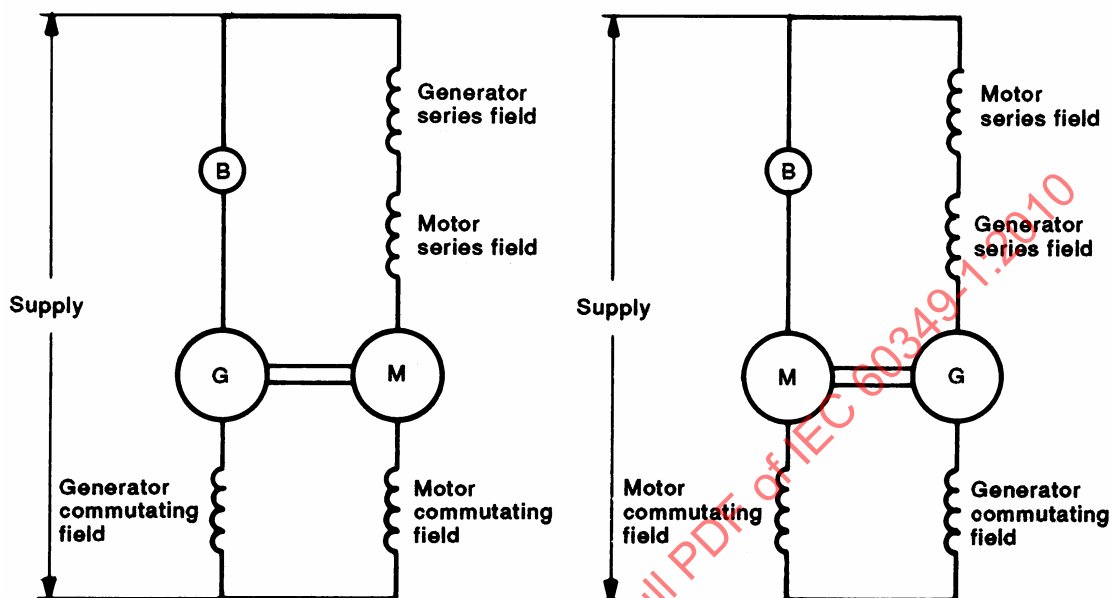
The losses are supplied partly from a constant voltage line and partly from a booster, which also controls the load current.

The method is suitable for all types of d.c. motors and generators.

The control of a pair of series excited machines and, in particular, stopping the machines at the conclusion of a test is facilitated if the generator series field is separately excited. When

taking readings, the field current is made equal to the motor load current and, in the efficiency calculations, r_g is taken as zero.

Windings other than series field windings are separately excited with the same current for both motor and generator.



IEC 862/91

Figure B.1a) – Motor test

Figure B.1b) – Generator test

$$\text{Motor efficiency} = \frac{2U_m I_m - U_b I_g - U_l I_l - (R_m + r_m - r_g) I_m^2 + R_g I_g^2 - U_c I_b + 2(R - R_t) I_m^2}{2(U_m I_m + r_s I_s^2)}$$

$$\text{Generator efficiency} = \frac{2U_g I_g}{2U_g I_g + U_b I_m + U_l I_l + (R_g + r_g - r_m) I_g^2 - R_m I_m^2 - U_c I_l + 2r_s I_s^2 - 2(R - R_t) I_g^2}$$

Figure B.1 – Circuit for determining loss and efficiency by the regenerative method with the machines connected in parallel

B.4.3 Series connection

In the absence of a suitable line supply, the series connection may be used.

This is less stable than the parallel circuit and is not recommended if other methods are available.

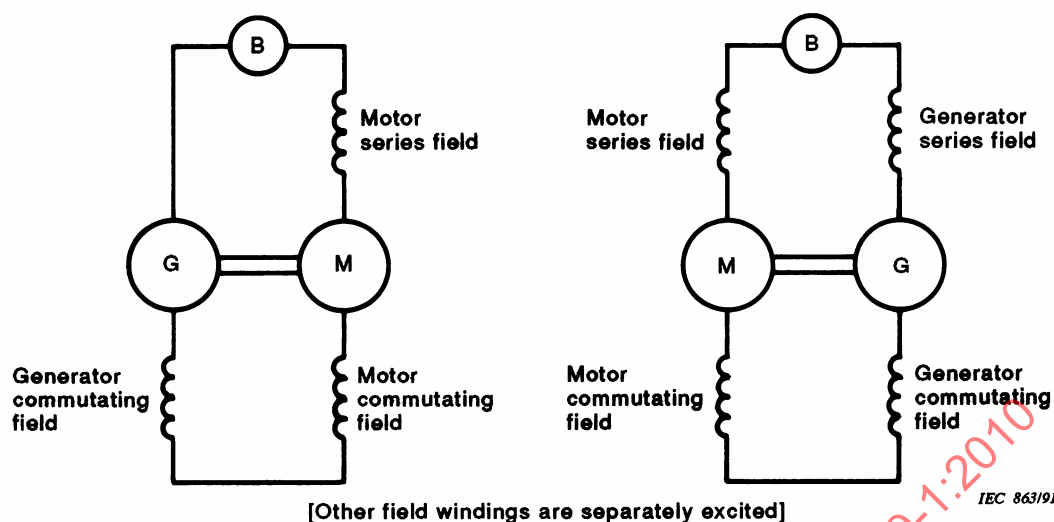


Figure B.2a) – Motor test

Figure B.2b) – Generator test

$$\text{Motor efficiency} = \frac{(2U_m - U_b - U_f)I_m + 2(R - R_t)I_m^2}{2(U_m I_m + r_s I_s^2)}$$

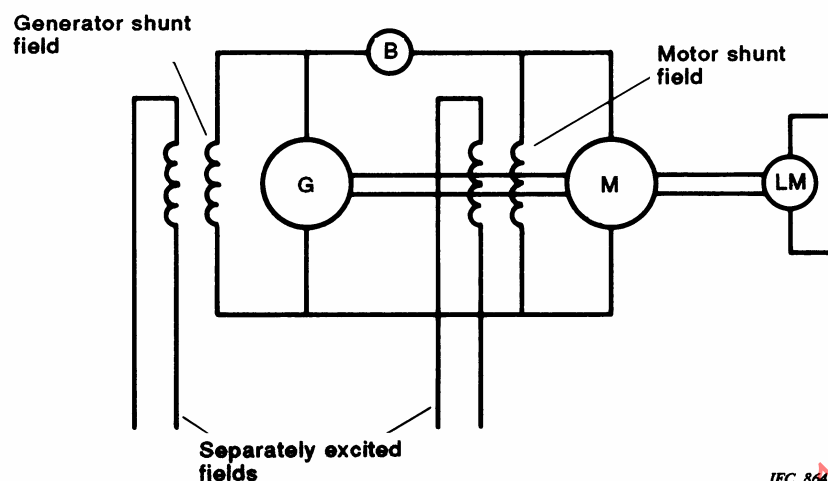
$$\text{Generator efficiency} = \frac{2U_g I_g}{(2U_g + U_b)I_g + 2r_s I_s^2 - 2(R + R_t)I_g^2}$$

Figure B.2 – Circuit for determining loss and efficiency by the regenerative method with the machines connected in series

B.4.4 Series connection with mechanical drive

The method is similar to that used in B.4.3 but uses a motor of known efficiency to supply the rotational losses.

This method is particularly suitable for testing engine driven main and auxiliary generator sets, as the auxiliary machine can be used as the test motor.

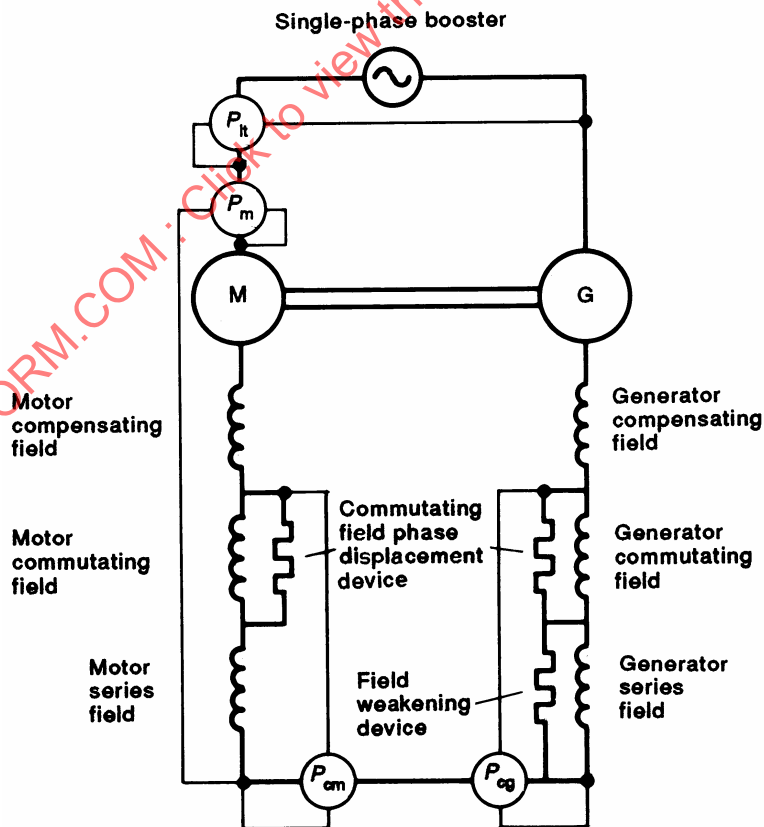


IEC 864/91

$$\text{Generator efficiency} = \frac{2(U_g I_g - r_{sh} i_g^2)}{2(U_g I_g + r_s i_s^2) + U_b I_g + P_r - 2(R - R_t) I_g^2}$$

Figure B.3 – Circuit for determining loss and efficiency by the regenerative method with the machines connected in series and with mechanical drive

B.4.5 Series connection for single-phase a.c. commutator motors



IEC 865/91

Figure B.4 – Circuit for determining loss and efficiency of single-phase a.c. commutator motors by the regenerative method with the machines connected in series

Assuming that the temperatures in corresponding windings of the two machines are equal, the motor efficiency is:

$$\frac{2P_m - P_{lt} + P_{cg} - P_{cm} + 2(R - R_t)I_m^2}{2P_m}$$

B.4.6 Series connection for pulsating current motors

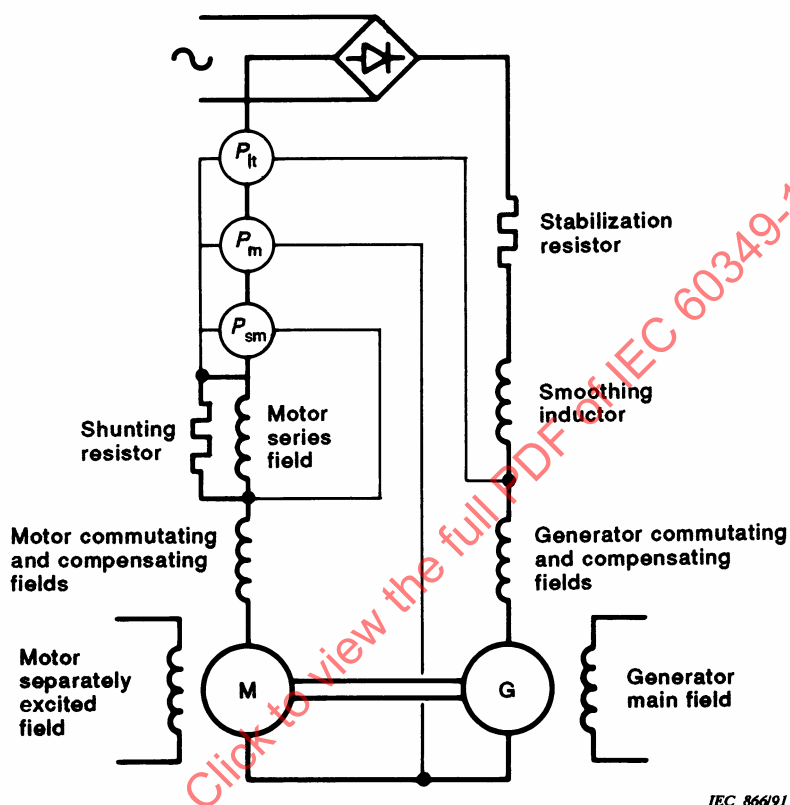


Figure B.5 – Circuit for determining loss and efficiency of pulsating current motors by the regenerative method with the machines connected in series

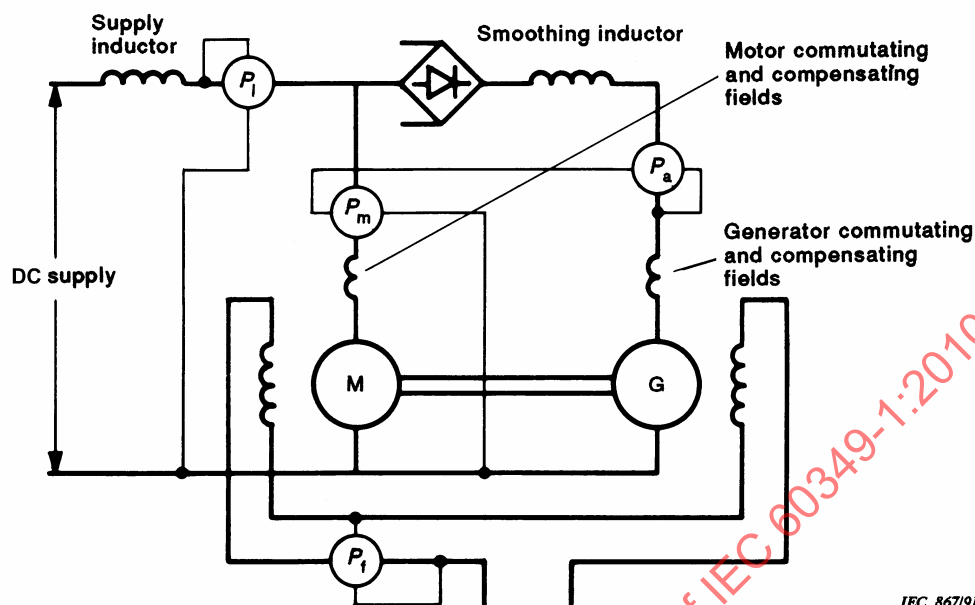
Assuming that the temperature in corresponding windings of the two machines are equal, the motor efficiency is given by:

$$\frac{2P_m - P_{lt} - P_{sm} + 2(R - R_t)I_m^2}{2(P_m + r_s I_s^2)}$$

For the measurements of P_{lt} , P_{sm} and P_m , the use of milliwattmeters is recommended. The current coils should be fed from suitable shunts and the voltage coil through suitable resistors.

The smoothing inductor shall be adjusted so as to give a current ripple factor of the same order of magnitude as that obtained under rated supply voltage conditions.

B.4.7 Parallel connection for separately excited pulsating current motors



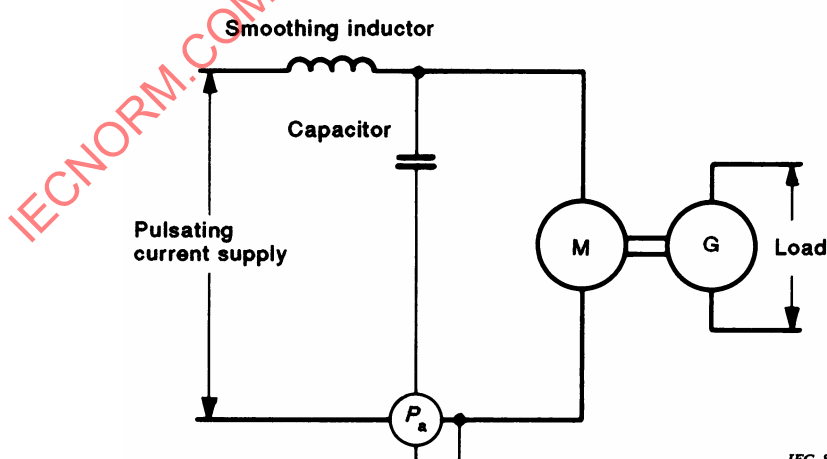
IEC 867/91

Figure B.6 – Circuit for determining loss and efficiency of pulsating current motors by the regenerative method with the machines connected in parallel

$$\text{Motor efficiency} = \frac{2P_m - P_1 - P_a - R_a I_m^2 + R_m I_m^2 + R_g I_g^2 - U_c I_l + 2(R - R_t) I_m^2}{2(P_m + P_t)}$$

The purpose of the inductor in the supply circuit is to limit the ripple current fed into the supply.

B.5 Measurement of the a.c. losses of pulsating current motors



IEC 868/91

Figure B.7 – Circuit for the measurement of the a.c. losses of pulsating current motors

$$\text{Pulsating current efficiency} = \frac{\text{DC efficiency}}{1 + \frac{P_a}{U_m I_m}}$$

P_a is measured by a wattmeter accurate up to 200 Hz.

The efficiency is first determined for the motor supplied on d.c.

The motor is then fed by a suitable source of pulsating current at the same voltage U_m (mean arithmetic value) and same current I_m (mean arithmetic value). It drives a generator the load of which can be adjusted so that the motor current is equal to I_m (measurements on the generator are not needed).

P_a is measured with an a.c. wattmeter, the current coil of which is fed across a suitable shunt whereas the voltage coil, connected across the motor terminals through a capacitor, is only subjected to the a.c. components of the voltage.

B.6 Summation of losses method

B.6.1 General

The efficiency should be determined in accordance with the relevant clauses of IEC 60034-2-1, except that the following special requirements should apply to machines complying to this standard:

- a) the reference temperature should be 150 °C;
- b) the total brush contact voltage drop should be taken as 3 V if the brushes do not have flexible connections and 2 V if connections are fitted;
- c) the I^2R loss in windings carrying pulsating currents should be corrected in accordance with Figure B.9;
- d) conventional values of traction motor transmission losses should be in accordance with Figure B.10;
- e) additional load losses should be included in accordance with B.6.2.

B.6.2 Additional load losses

B.6.2.1 DC machines

The additional load loss of a compensated d.c. machine should be taken as equal to the short-circuit stray loss, which is defined as the total input, less the I^2R , friction and windage losses, when the machine is run as a generator on short circuit at the same current and speed as for the load point.

The additional load loss of an uncompensated d.c. machine should be taken as the short-circuit stray loss multiplied by a constant k_1 , obtained from Figure B.8, the ratio of field to armature ampere turns being that at the load point.

B.6.2.2 Asynchronous a.c. machines

Where IEC 60034-2-1 is not applicable, IEC 60349-3 should be used.

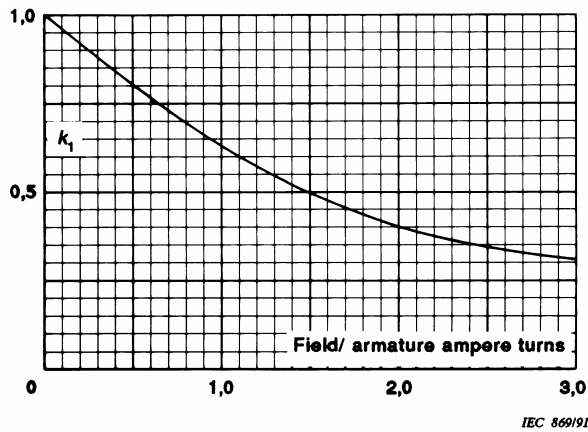


Figure B.8 – Correction factor for additional load loss of uncompensated d.c. machines

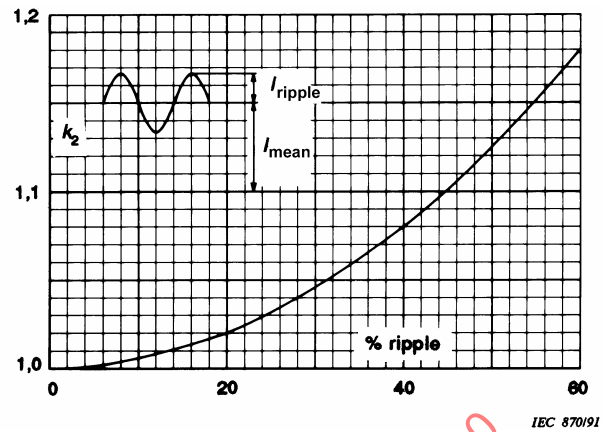


Figure B.9 – Correction factor for pulsating current I^2R loss

$$K_2 = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{I_{\text{ripple}}}{I_{\text{mean}}} \right)^2$$

$$\text{Corrected } I^2R \text{ loss} = I_{\text{mean}}^2 \times k_2 \times R$$

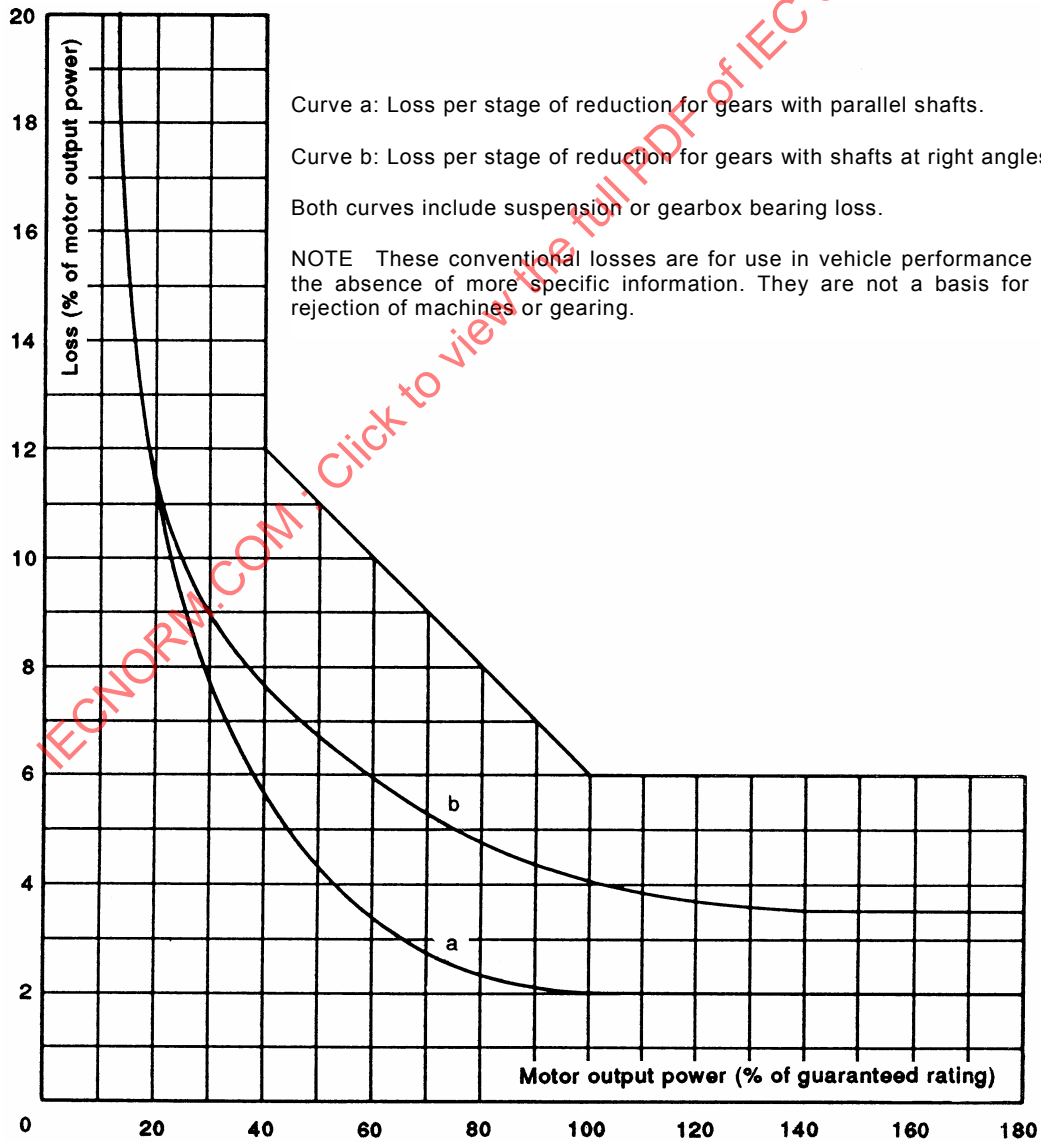


Figure B.10 – Conventional values of traction motor transmission losses

B.7 Reference documents

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

IEC 60349-3, *Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 3: Determination of the total losses of converter-fed alternating current motors by summation of component losses*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-1:2010

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 of 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.1.4 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, 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 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 in decibels as

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

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 in decibels as

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

where

W is the measured sound power;

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

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

NOTE 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 motors 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 under test should be determined, for each octave band, at the same points as for the test. The readings at each point with the machine under test shall 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

Decibel increase in level produced by the machine	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 of type 1 as specified in IEC 61672.

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

C.4.2 Calibration of measuring equipment

The overall acoustic 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 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 5 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:

- Sound level in dB (A);
- 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 decibel readings 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 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 of 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 sources may not be suitable), of known acoustic power W_r .

NOTE If the machine on 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 on 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 on 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 of the one-third octave band containing the tone frequency is more than 5 dB above the average of the levels 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.

Table C.3 – Correction for pure tones

dB 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 motor, including any correction for pure tones, is given by Figure C.1 for traction motors and by IEC 60034-9 for other types of auxiliary motors.

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

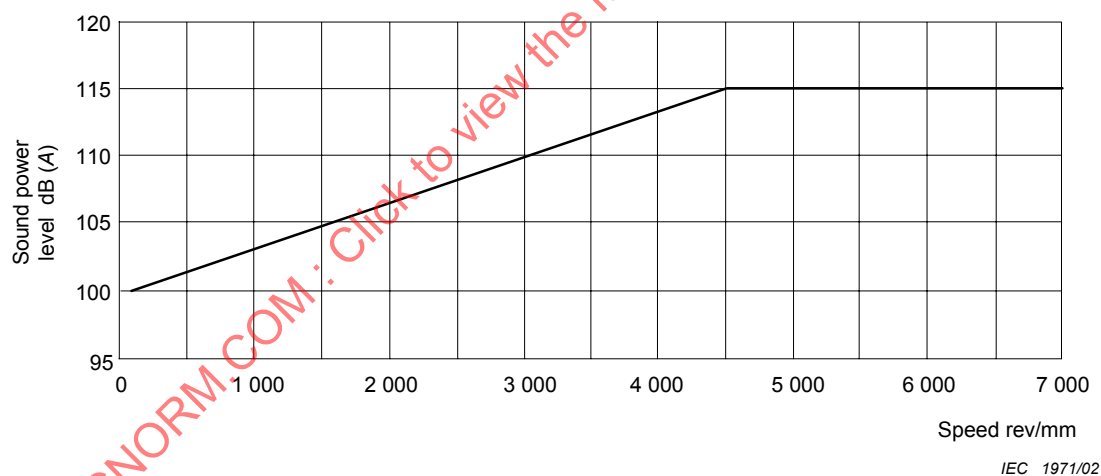


Figure C.1 – Limiting mean sound power level for airborne noise emitted by traction motors

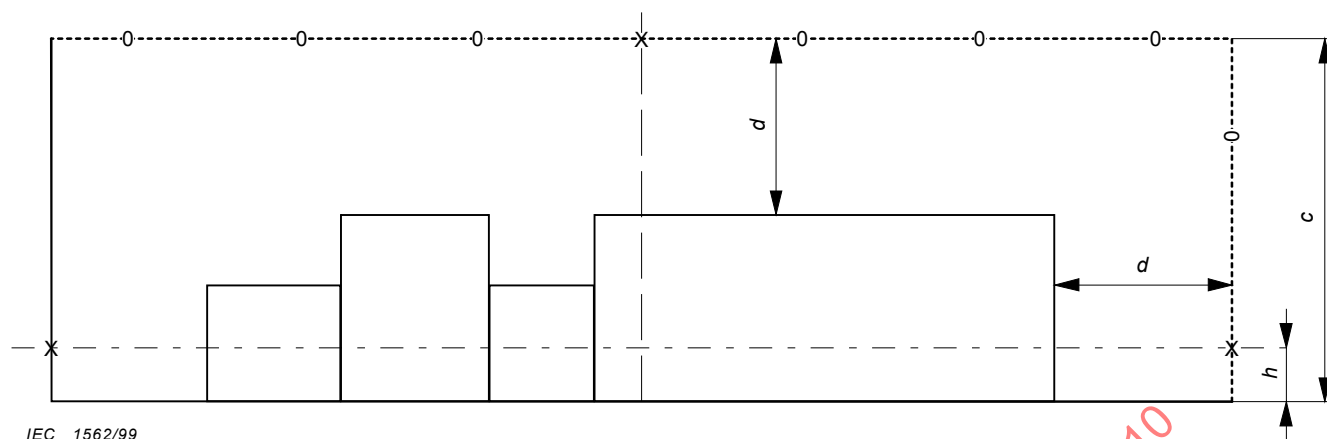
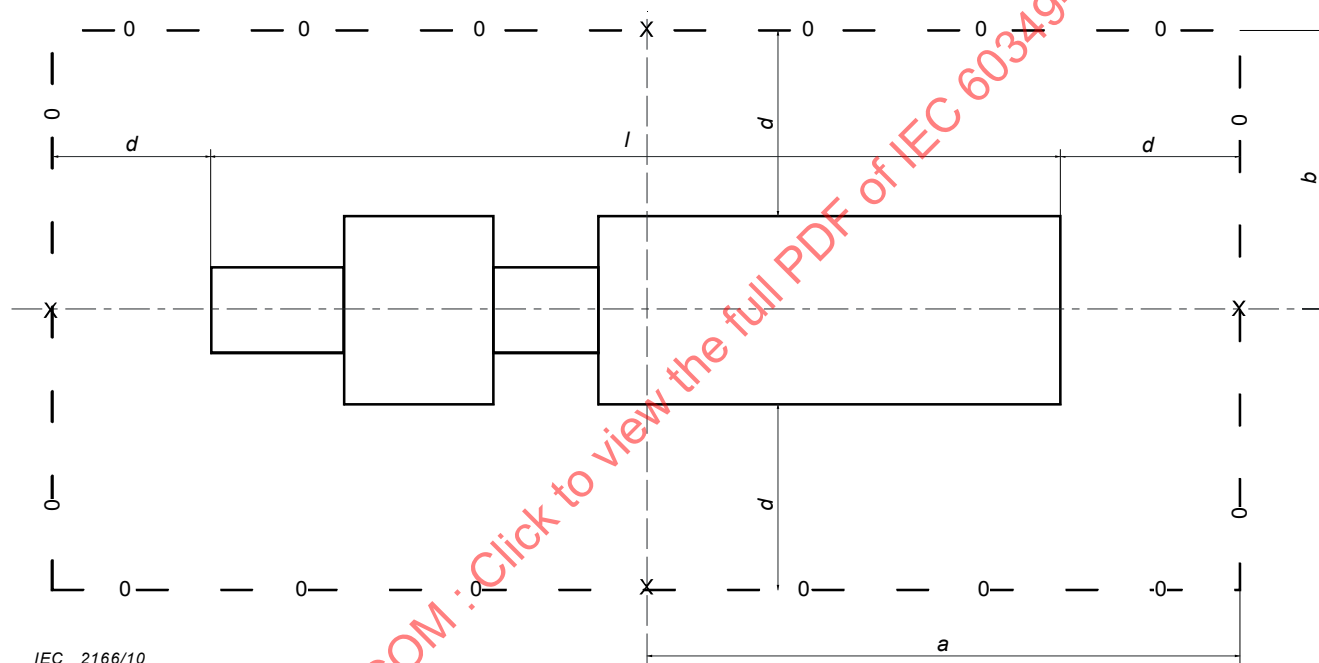


Figure C.2 a) – Prescribed path in the vertical plane

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

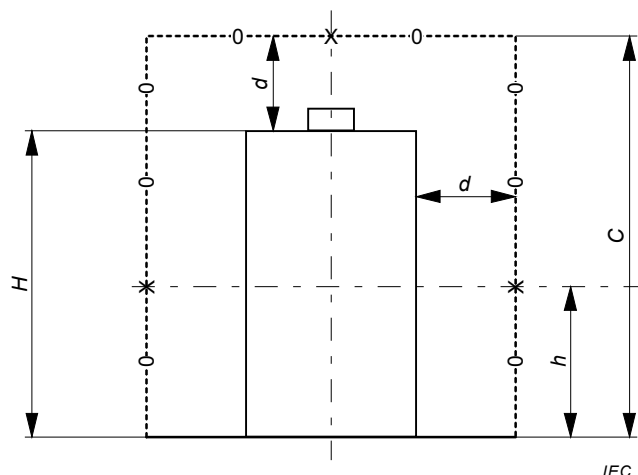
l m	d m
$\geq 0,25$	1
$< 0,25$	$4l \leq d \leq 1$ $d > 0,25$

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

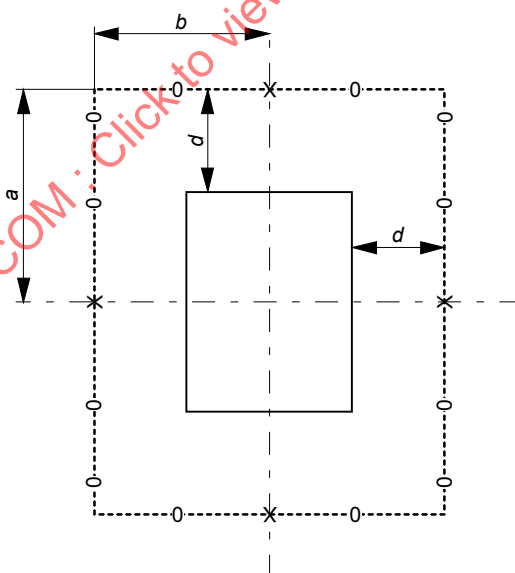
**Figure C.2 – Location of measuring points and prescribed paths
for horizontal machines**



IEC 1564/99

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

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



IEC 1565/99

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 system shall be specified to the machine manufacturer by the user.

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

Performance at voltages other than nominal voltage may vary inherently or may be controlled to limit such variation, but the holding of constant performance over a wide range of voltage is not generally desirable because of its effect on the size of machines and other equipment.

Auxiliary machines shall have adequate output to permit operation of the vehicle at any supply voltage within the specified limits but in order to achieve this it may be necessary to shed non-vital loads at low supply voltage.

Standard supply voltages are listed in IEC 60850 and should be used whenever possible.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-1:2010

Annex E (informative)

Agreement between user and manufacturer

E.1 General

The mandatory clauses of this standard adequately specify the requirements for machines intended for normal traction duties. However, there are some cases which necessitate additional information or tests, and others where the standard permits equally acceptable alternatives. It is essential that these items are clarified when submitting tenders and that they are agreed on placing an order. To facilitate this process, the relevant clauses are listed below.

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

Clause or subclause	Subject
4, Table 2	Exceptional service conditions
3.3.4 note	Nominal voltage of the auxiliary supply
3.4.2	Rated speed of a vehicle for an axle-driven generator
3.5.1	Maximum voltage of an auxiliary machine
7.1.2	Additional type tests
8.1.5	Short-time overload tests
9.4	Routine overspeed tests on cage and solid rotor machines
9.6	Quantitative vibration measurement
9.7	Commutator radial run-out measurements
Annex C	Noise tests
Annex D	Supply voltage limits

E.3 Special requirements of the manufacturer to be specified to and agreed with the user

5.1	Declared characteristic different from an existing one
5.4	Alternative voltage for thermoelectric motor characteristics
5.6	Plotting auxiliary motor characteristics
7.1.2	Exemption from or reduction of type tests
7.1.3	Methods of routine testing
7.1.3	Extent of routine testing
8.2.3.1	Testing of main alternators on open and short-circuit
8.4.1	Modification of transient tests due to plant limitations
8.6.3, 8.6.4	Modification of starting tests due to plant limitations
Annex A	Special cooling arrangements
Annex A	Special braking arrangements and extension of time for first resistance measurement

E.4 Other special requirements which may be the subject of agreement between user and manufacturer

- 6.2 Terminal and lead markings other than in accordance with IEC 60034-8
- 7.1.4 Investigation tests
- 8.1.1, 8.2.1 Effect of difference between test supply and service power supply
- 8.1.4 Temperatures of other parts
- 8.2.2.2 Separately excited motor special characteristics
- 8.7 Overspeed tests
- 9.5 Use of d.c. for dielectric testing
- 9.7 Modified commutator radial run-out limits

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-1:2010

Bibliography

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

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

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

IEC 60349-3, *Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 3: Determination of the total losses of converter-fed alternating current motors by summation of the component losses*

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

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

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

IEC 61373, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

IEC 61377-2, *Railway applications – Rolling stock – Combined testing – Part 2: Chopper-fed direct current traction motors and their control*

IEC 61672, *Electroacoustics – Sound level meters*

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

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

ISO 3743-2, *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, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane*

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

ISO 3746, *Acoustics – Determination of sound power 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 of noise sources using sound pressure – Comparison method in situ*

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

ISO 9614-2, *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 60349-1:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	67
1 Domaine d'application et objet.....	69
2 Références normatives.....	70
3 Termes et définitions.....	70
4 Conditions d'environnement.....	75
5 Caractéristiques.....	76
5.1 Généralités.....	76
5.2 Température de référence des enroulements.....	76
5.3 Caractéristiques de rendement.....	76
5.4 Caractéristiques des moteurs de traction à collecteur.....	76
5.5 Caractéristiques des génératrices principales.....	77
5.6 Caractéristiques des moteurs auxiliaires.....	77
5.7 Caractéristiques des génératrices auxiliaires.....	78
5.8 Caractéristiques des groupes moteurs-générateurs auxiliaires et des convertisseurs tournants.....	78
6 Marquage.....	78
6.1 Plaque signalétique.....	78
6.2 Marquage des câbles et des bornes.....	79
7 Catégories et liste des essais.....	79
7.1 Catégories d'essais.....	79
7.1.1 Généralités.....	79
7.1.2 Essais de type.....	79
7.1.3 Essais de série.....	79
7.1.4 Essais d'investigation.....	80
7.2 Liste des essais.....	80
8 Essais de type.....	82
8.1 Essais d'échauffement.....	82
8.1.1 Généralités.....	82
8.1.2 Ventilation durant les essais d'échauffement.....	82
8.1.3 Appréciation des résultats.....	83
8.1.4 Limites d'échauffement.....	83
8.1.5 Essai d'échauffement de surcharge de courte durée.....	83
8.2 Essais et tolérances caractéristiques.....	84
8.2.1 Généralités.....	84
8.2.2 Moteurs de traction à collecteur.....	85
8.2.3 Génératrices principales (voir Figure 2).....	86
8.2.4 Moteurs auxiliaires.....	86
8.2.5 Génératrices auxiliaires.....	87
8.2.6 Groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants.....	87
8.3 Essais de commutation.....	88
8.3.1 Généralités.....	88
8.3.2 Moteurs de traction (voir Figure 1).....	88
8.3.3 Génératrices principales (voir Figure 2).....	89
8.3.4 Moteurs et génératrices auxiliaires et groupes moteurs-générateurs.....	89
8.4 Essais en régime transitoire.....	89
8.4.1 Généralités.....	89

8.4.2	Moteurs de traction et moteurs des groupes moteurs-générateurs principaux.....	90
8.4.3	Moteurs auxiliaires, groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants auxiliaires	90
8.4.4	Essai de variation brusque de tension sur les moteurs auxiliaires, les groupes moteurs-générateurs auxiliaires et les convertisseurs tournants auxiliaires	91
8.5	Essais de court-circuit des alternateurs principaux et auxiliaires	91
8.6	Essais de démarrage.....	91
8.6.1	Généralités.....	91
8.6.2	Moteurs monophasés à courant alternatif pour locomotives	92
8.6.3	Groupes moteurs-générateurs principaux	92
8.6.4	Moteurs auxiliaires, groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants auxiliaires	92
8.7	Essais de survitesse.....	92
8.8	Essais de vibration	93
8.8.1	Caractéristiques des vibrations générées en interne.....	93
9	Essais de série.....	93
9.1	Essai de bon fonctionnement de courte durée	93
9.1.1	Généralités.....	93
9.1.2	Conditions d'essai	93
9.1.3	Relevé des courbes d'échauffement et de refroidissement.....	94
9.1.4	Appréciation des résultats	94
9.2	Essais de détermination des caractéristiques et tolérances	94
9.2.1	Généralités.....	94
9.2.2	Moteurs de traction à collecteur (voir Figure 1).....	95
9.2.3	Génératrices principales (voir Figure 2)	95
9.2.4	Essais particuliers aux alternateurs	95
9.2.5	Moteurs auxiliaires	95
9.2.6	Génératrices auxiliaires	95
9.2.7	Groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs	96
9.3	Essais de commutation	96
9.3.1	Généralités.....	96
9.3.2	Moteurs de traction (voir Figure 1).....	96
9.3.3	Génératrices principales (voir Figure 2)	96
9.3.4	Moteurs et génératrices auxiliaires et groupes moteurs-générateurs.....	96
9.4	Essais de survitesse.....	97
9.4.1	Généralités.....	97
9.4.2	Moteurs de traction.....	97
9.4.3	Génératrices principales ou auxiliaires entraînées par moteur thermique	97
9.4.4	Génératrices entraînées par l'essieu	97
9.4.5	Groupes moteurs-générateurs principaux ou auxiliaires, convertisseurs auxiliaires et moteurs auxiliaires	97
9.5	Essais diélectriques	97
9.6	Essais de vibrations (non compensées – balourd)	98
9.7	Mesure de la déformation radiale du collecteur (faux-rond)	99
Annexe A (normative)	Mesure de la température	102
Annexe B (informative)	Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement.....	105
Annexe C (informative)	Mesure du bruit et limites	115

Annexe D (normative) Tensions d'alimentation des réseaux de traction	125
Annexe E (informative) Accords entre exploitant et constructeur	126
Bibliographie.....	128
Figure 1 – Définition des régimes d'essai pour moteurs de traction à collecteur	100
Figure 2 – Définition des régimes d'essai pour génératrices principales.....	101
Figure B.1 – Schéma pour la détermination des pertes et du rendement par la méthode de récupération avec connexion des machines en parallèle	107
Figure B.2 – Schéma pour la détermination des pertes et du rendement par la méthode de récupération avec connexion des machines en série.....	108
Figure B.3 – Schéma pour la détermination des pertes et du rendement par la méthode de récupération avec connexion des machines en série et avec accouplement mécanique	109
Figure B.4 – Schéma pour la détermination des pertes et du rendement des moteurs monophasés à collecteur à courant alternatif par la méthode de récupération avec connexion des machines en série	109
Figure B.5 – Schéma pour la détermination des pertes et du rendement des moteurs à courant ondulé par la méthode de récupération avec connexion des machines en série.....	110
Figure B.6 – Schéma pour la détermination des pertes et du rendement des moteurs à courant ondulé par la méthode de récupération avec connexion des machines en parallèle.....	111
Figure B.7 – Schéma pour la mesure des pertes alternatives des moteurs à courant ondulé	111
Figure B.8 – Facteur correctif pour les pertes supplémentaires en charge des machines à courant continu non compensées	113
Figure B.9 – Facteur correctif pour pertes Joule (I^2R) en courant ondulé	113
Figure B.10 – Valeurs conventionnelles des pertes dans les transmissions des moteurs de traction	113
Figure C.1 – Limite de niveau de puissance acoustique moyen de bruit aérien généré par les moteurs de traction	122
Figure C.2 – Situation des points de mesure et contours prescrits pour une machine à axe horizontal.....	123
Figure C.3 – Situation des points de mesure et contours prescrits pour une machine à axe vertical	124
Tableau 1 – Liste des essais.....	81
Tableau 2 – Limites d'échauffement pour les régimes continus assignés ou autres.....	83
Tableau 3 – Valeurs des échauffements pour les régimes assignés de surcharge de courte durée	84
Tableau 4 – Tolérances sur la vitesse des moteurs de traction à collecteur	85
Tableau 5 – Tensions d'essais diélectriques	98
Tableau 6 – Limites de la déformation radiale du collecteur (faux-rond).....	99
Tableau C.1 – Corrections	117
Tableau C.2 – Corrections	121
Tableau C.3 – Correction pour sons purs	121

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TRACTION ÉLECTRIQUE –
MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES
DES VÉHICULES FERROVIAIRES ET ROUTIERS –****Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif
alimentés par 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60349-1 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 1999, et son amendement 1 (2002), dont elle constitue une révision technique.

Les modifications techniques principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Etant donné que les limites des vitesses de vibration ont été modifiées dans la CEI 60034-14, les limites valables pour les moteurs de traction sont maintenant directement spécifiées dans cette norme.

- En plus de la méthode existante pour mesurer et calculer le niveau de puissance acoustique, les méthodes décrites dans les ISO 3741, ISO 3743, ISO 3744, ISO 3745 et ISO 9614 sont également autorisées. Cependant, les niveaux maximaux de puissance acoustique et la correction des sons purs restent inchangés dans les Articles C.7 et C.8.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1415/FDIS	9/1465/RVD

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

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

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.

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 60349-1:2010

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

Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60349 est applicable aux machines électriques tournantes, autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique, qui font partie de l'équipement des véhicules ferroviaires et routiers à propulsion électrique. Les véhicules peuvent être alimentés soit par une source externe, soit par une source interne.

L'objet de cette norme 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 doivent être réalisés conformément à la CEI 61377-2, il peut être préférable de réaliser certains essais de type et d'investigation sur le banc d'essai combiné afin d'éviter des redondances.

NOTE 1 La présente norme est également applicable aux machines installées sur les remorques attelées aux véhicules à propulsion électrique.

NOTE 2 Les exigences de base de la présente norme peuvent être appliquées aux machines électriques tournantes des véhicules à usages spéciaux tels que les locomotives de mines, mais cette norme ne couvre pas les dispositifs antidéflagrants ou autres équipements spéciaux qui pourraient être nécessaires.

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

NOTE 4 Des machines de type industriel conformes à la série CEI 60034 peuvent convenir pour certaines applications auxiliaires.

Le courant électrique absorbé ou fourni par les machines couvertes par cette norme peut être l'un des suivants:

- a) courant continu (y compris courant alternatif polyphasé redressé);
- b) courant ondulé (courant alternatif monophasé redressé);
- c) courant unidirectionnel régulé par hacheur;
- d) courant alternatif monophasé;
- e) courant alternatif polyphasé (en général triphasé).

Dans la présente norme, les machines électriques concernées sont classées comme suit.

- 1) Moteurs de traction – Moteurs utilisés pour propulser des véhicules ferroviaires ou routiers.
- 2) Génératrices principales entraînées par un moteur thermique – Génératrices qui servent à fournir l'énergie aux moteurs de traction du même véhicule ou de la même rame.
- 3) Groupes moteurs-générateurs principaux – Machines alimentées par une ligne de contact ou par une batterie et fournissant l'énergie aux moteurs de traction du même véhicule ou de la même rame.

- 4) Moteurs auxiliaires – Moteurs servant à l'entraînement de compresseurs, ventilateurs, génératrices auxiliaires ou autres machines auxiliaires.
- 5) Génératrices auxiliaires – 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.
- 6) Groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants auxiliaires – Machines alimentées par la ligne de contact ou par une autre source et fournissant de l'énergie pour les services auxiliaires.

2 Références normatives

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

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et performances*

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

CEI 60085, *Evaluation et désignation thermiques*

CEI 60638, *Critères d'appréciation et cotation de la commutation des machines tournantes de traction*

CEI 61287-2, *Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant ferroviaire – Partie 2: Informations techniques supplémentaires*

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, à la CEI 60050-151, à la CEI 60050-411 et à 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

NOTE Pour les machines de traction, le régime peut comprendre certaines grandeurs spéciales telles que le taux d'ondulation du courant d'un moteur à courant ondulé, les conditions d'excitation pour un moteur à vitesse réglable par variation du champ, etc.

3.1.2

régime continu assigné

charge électrique que la machine peut supporter 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 norme étant également satisfaites

3.1.2.1

régimes continus assignés d'une génératrice principale entraînée par un moteur

une génératrice principale entraînée par un moteur a généralement deux régimes continus assignés, définis ci-après:

a) régime continu assigné «à tension inférieure»

régime continu assigné déterminé par l'échauffement des enroulements parcourus par le courant principal (intensité du courant plus élevée et tension relativement basse)

b) régime continu assigné «à tension supérieure»

régime continu assigné déterminé par l'échauffement des enroulements de champ (tension la plus élevée et intensité du courant relativement faible)

NOTE 1 Ces deux régimes continus assignés correspondent à des points de la caractéristique régulée à pleine puissance définie en 3.8.2 ou de la caractéristique intrinsèque définie en 3.8.3.

NOTE 2 Des régimes assignés similaires à ceux définis ci-dessus peuvent, dans les cas appropriés, s'appliquer aux groupes moteurs-générateurs principaux.

3.1.3

régime de courte durée assigné (1 h par exemple)

charge électrique que la machine peut supporter au banc d'essai pendant la durée fixée sans dépasser les limites d'échauffement indiquées au Tableau 2, l'essai étant effectué dans les conditions énoncées en 8.1 et commencé avec la machine froide (voir l'Article A.1), toutes les autres exigences appropriées de la présente norme étant également satisfaites

3.1.4

régime de surcharge de courte durée assigné

charge électrique qu'une machine peut supporter au banc d'essai pendant la durée fixée sans dépasser les limites d'échauffement indiquées au Tableau 3 (l'essai étant commencé et effectué dans les conditions énoncées à l'Annexe A)

NOTE 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

régime électrique qu'une machine utilisée suivant un cycle de travail répétitif peut supporter 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 à une grande série de cycles intermittents que la machine aura à supporter en service

NOTE 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

3.1.7.1

régime assigné garanti d'un moteur de traction

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

3.1.7.2

régimes assignés garantis d'une génératrice principale (entraînée par un moteur thermique)

les régimes assignés garantis sont normalement les deux régimes continus assignés définis en 3.1.2 mais, dans certains cas, constructeur et exploitant peuvent convenir qu'il s'agit de régimes assignés de courte durée ou de régimes intermittents assignés

3.1.7.3

régimes assignés garantis d'un groupe moteur-générateur principal

les régimes assignés garantis sont normalement les régimes continus assignés mais, dans certains cas, constructeur et exploitant peuvent convenir qu'il s'agit de régimes de courte durée assignés ou de régimes intermittents assignés

3.1.7.4

régime assigné garanti d'une machine auxiliaire

sauf spécification contraire, le régime assigné garanti est le régime continu assigné

3.2

tension assignée

tension spécifiée aux bornes de la machine quand celle-ci fonctionne au régime assigné. Dans le cas d'une tension redressée, sa valeur est égale à la valeur arithmétique moyenne de l'onde périodique. Dans le cas d'une tension alternative, sa valeur est égale à la valeur efficace de la composante fondamentale de l'onde périodique

NOTE Dans le cas d'une machine équipée d'une résistance de protection connectée en permanence en série, la résistance est considérée comme faisant partie intégrante de la machine.

3.2.1

tension assignée d'un moteur alimenté directement ou indirectement à partir d'une ligne de contact (y compris les moteurs d'entraînement des groupes moteurs-générateurs)

tension la plus élevée qui peut exister aux bornes du moteur (à l'exclusion des surtensions transitoires) quand le moteur absorbe son courant assigné sous la tension nominale de la ligne de contact définie à l'Annexe D

NOTE 1 Dans certains cas, pour définir complètement la performance d'une machine, il peut être nécessaire de référencer les régimes assignés spécifiés à une tension autre que celle définie ci-dessus (par exemple dans le cas d'un groupe moteur-générateur fournissant une puissance constante dans une plage donnée de tensions d'alimentation)

NOTE 2 Dans le cas d'un moteur alimenté indirectement, si la caractéristique de régulation du transformateur ou de tout autre système n'est pas spécifiée, la tension assignée est prise égale à 90 % de la tension à vide du système

3.2.2

tension assignée d'un moteur alimenté à partir d'une génératrice ou d'une batterie placée sur le véhicule

3.2.2.1

moteurs de traction

tension assignée correspondant à la tension maximale de la source quand celle-ci alimente le moteur à son courant assigné

3.2.2.2

moteurs auxiliaires

tension assignée correspondant à la tension nominale du réseau auxiliaire d'alimentation (voir note de 3.2.4)

3.2.3

tensions assignées d'une génératrice principale

les deux tensions assignées correspondant aux deux régimes continus assignés définis en 3.1.2

3.2.4

tension assignée d'une génératrice auxiliaire (y compris les génératrices des groupes moteurs-générateurs auxiliaires ou des convertisseurs tournants)

tension correspondant à la tension nominale du réseau d'alimentation auxiliaire

NOTE Il convient normalement que la tension nominale du réseau d'alimentation auxiliaire soit spécifiée par le constructeur en accord avec l'exploitant afin de prendre en considération certains facteurs (tels que la standardisation avec d'autres véhicules) pouvant influencer ce choix.

3.3

vitesse assignée d'une machine

vitesse correspondant à un régime assigné garanti de la machine

3.3.1

vitesse assignée d'une génératrice principale ou auxiliaire entraînée par un moteur thermique

vitesse de la génératrice correspondant à la vitesse assignée du moteur d'entraînement

3.3.2

vitesse assignée d'une génératrice entraînée par l'essieu

vitesse fixée par accord entre le constructeur et l'exploitant

3.4

tension maximale (ou minimale)

3.4.1

tension maximale (ou minimale) d'une machine

tension maximale (ou minimale) que la machine est appelée à supporter en service, exception faite des tensions transitoires. Sont aussi exclues toutes les réductions de tension résultant des moyens de commande pendant les phases de démarrage ou d'accélération

NOTE Sauf accord contraire, la tension maximale d'une machine auxiliaire branchée en série avec d'autres machines dont elle est découplée mécaniquement est prise égale à 1,2 fois la tension maximale d'alimentation des machines divisée par le nombre de machines connectées en série.

3.4.2

tensions maximales et minimales des machines alimentées directement ou indirectement par la ligne de contact

tensions correspondant normalement aux tensions les plus élevées et les plus basses du réseau de traction (voir Annexe D), compte tenu des caractéristiques de régulation des transformateurs ou équipements de commande interposés entre la ligne et la machine

3.5

courant maximal

valeur maximale du courant indiquée sur les courbes caractéristiques fournies par le constructeur

3.6

vitesse maximale d'utilisation

3.6.1

vitesse maximale d'utilisation d'un moteur de traction

plus grande vitesse de rotation attribuée au moteur de traction par le constructeur

NOTE Si le moteur est destiné à équiper un véhicule dont les caractéristiques sont spécifiées, il convient que cette vitesse ne soit pas inférieure à celle qui correspond à la vitesse maximale d'utilisation 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.

3.6.2

vitesse maximale d'utilisation d'une génératrice principale ou auxiliaire entraînée par un moteur

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

NOTE Celle-ci sera normalement la vitesse maximale réglée à vide. Il convient de ne pas prendre en compte les variations transitoires de vitesse durant les changements de régime.

3.6.3

vitesse maximale d'utilisation d'une génératrice dont la vitesse de rotation est proportionnelle à la vitesse du véhicule

plus grande vitesse de rotation de la génératrice attribuée par le constructeur. Voir note en 3.6.1

3.6.4

vitesse maximale d'utilisation d'un groupe moteur-générateur principal ou auxiliaire, d'un convertisseur tournant auxiliaire ou d'un moteur auxiliaire

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

NOTE Pour des applications spécifiques, il convient de tenir compte, pour fixer la vitesse maximale, des conditions les plus défavorables de tension, excitation, fréquence, charge, etc. qui peuvent exister en service.

3.7

puissance utile et puissance d'entraînement des machines électriques et des moteurs thermiques

3.7.1

puissance utile d'un moteur

puissance utile mécanique disponible à l'arbre du moteur, exprimée en kilowatts (kW)

3.7.2

puissance maximale utile en service d'un moteur thermique

puissance utile maximale attribuée à un moteur thermique pour une application particulière

3.7.3

puissance d'entraînement disponible fournie à une génératrice principale

puissance mécanique transformée en puissance électrique pour alimenter des moteurs de traction et d'autres charges qui lui sont connectées, par exemple le chauffage du train

NOTE 1 Elle sert à définir les régimes assignés et les caractéristiques de cette génératrice.

NOTE 2 La puissance d'entraînement disponible maximale d'une génératrice principale est la puissance maximale utile en service du moteur thermique, diminuée de la puissance nécessaire pour entraîner directement ou indirectement ses organes de refroidissement et les divers auxiliaires du véhicule supposés fonctionner à leur puissance d'entraînement minimale dans les conditions spécifiées.

NOTE 3 La puissance d'entraînement disponible n'est pas nécessairement absorbée par la génératrice principale dans toute sa plage d'utilisation.

3.8

caractéristiques d'une génératrice principale

3.8.1

caractéristique réglée

caractéristique obtenue lorsque la puissance délivrée par la génératrice principale est réglée pour absorber la puissance d'entraînement disponible, le produit de la tension et du courant restant alors sensiblement constant à l'intérieur du domaine de régulation

3.8.2

caractéristique réglée à pleine puissance

caractéristique réglée correspondant à la puissance d'entraînement maximale disponible

3.8.3**caractéristique intrinsèque**

caractéristique d'une génératrice fonctionnant sans équipement de régulation de charge pour adapter sa puissance d'entraînement à la puissance utile disponible du moteur thermique

3.9**taux d'excitation d'un moteur série**

rapport des ampères-tours d'excitation réels à la valeur maximale possible avec le même courant d'induit

NOTE 1 Un moteur série est dit:

- à plein champ lorsque le courant traversant les enroulements inducteurs est égal au courant dans l'induit;
- à champ maximal lorsque le moteur fonctionne avec le taux d'excitation le plus élevé utilisable en service;
- à champ réduit lorsque le moteur fonctionne avec un taux d'excitation plus faible que le maximal;
- à champ minimal lorsque le moteur fonctionne avec le taux d'excitation le plus faible utilisable en service.

NOTE 2 Dans le cas de moteurs sans shuntage permanent des inducteurs, le champ maximal est équivalent au plein champ.

3.10**résistance effective d'un moteur série**

valeur de résistance qui, multipliée par le courant absorbé, donne la chute de tension totale résistive dans les enroulements de la machine, c'est-à-dire prend en compte la présence des circuits de dérivation du courant par rapport aux enroulements d'excitation

3.11**taux d'ondulation**

taux d'ondulation d'un courant unidirectionnel exprimé en pourcentage, défini par la formule suivante:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100$$

dans laquelle $I_{\max}$ et $I_{\min}$ représentent respectivement la valeur maximale et la valeur minimale de l'onde de courant

NOTE Cette définition est conforme à la CEI 61287-1.

3.12**fréquence d'ondulation**

fréquence de la composante alternative fondamentale du courant ondulé ou de la tension ondulée

3.13**réglage par impulsions**

réglage de la puissance d'une machine obtenu en faisant varier les instants d'amorçage et les instants d'extinction d'impulsions répétitives de la tension ou du courant d'alimentation

NOTE Les dispositifs de réglage par impulsions comprennent, sans s'y limiter, les hacheurs, les onduleurs et les redresseurs à réglage électronique.

4 Conditions d'environnement

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

- a) Altitude

L'altitude au-dessus du niveau de la mer: Classe A3 selon la CEI 62498-1.

b) Température

La température à l'ombre: 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) sont dépassées, des exigences spéciales peuvent être adoptées après accord entre exploitant et constructeur. Pour plus d'informations, se référer à la CEI 60034-1.

Le constructeur doit être informé par l'exploitant de toute condition particulièrement sévère (poussière, humidité, température, neige, effets dynamiques, etc.) dans laquelle les machines sont destinées à fonctionner.

5 Caractéristiques

5.1 Généralités

Les spécifications des machines doivent, en règle générale, comporter des courbes caractéristiques conformes aux paragraphes suivants. Ces courbes, définies comme étant les "caractéristiques spécifiées", doivent être tracées jusqu'aux limites d'utilisation de chaque variable.

A la suite des essais des premières machines d'une série, des « caractéristiques de base » doivent être établies à partir des résultats d'essais conformément à 8.2.

Sauf accord contraire, les caractéristiques de base de toute machine identique, 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, le contrôle de conformité avec les caractéristiques doit se limiter aux seuls essais de série.

5.2 Température de référence des enroulements

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 de 150 °C, qui doit être notée sur les caractéristiques.

5.3 Caractéristiques de rendement

Les caractéristiques de rendement doivent prendre en compte les pertes dans les résistances externes normalement connectées dans le circuit principal ou le circuit d'excitation. La puissance nécessaire pour l'excitation séparée doit être incluse dans les pertes, sauf s'il en est tenu compte par ailleurs (par exemple comme consommation auxiliaire), auquel cas cette particularité doit être précisée.

5.4 Caractéristiques des moteurs de traction à collecteur

Les courbes caractéristiques doivent normalement représenter la vitesse de rotation, le couple et le rendement en fonction du courant. En variante, les courbes peuvent représenter la vitesse du véhicule et l'effort de traction à la jante en fonction du courant. Dans ce 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.10.

Ces courbes doivent être tracées pour chaque état d'excitation de l'application, sauf lorsqu'un système de réglage continu de l'excitation est employé, auquel cas seules les courbes caractéristiques correspondant aux niveaux maximal et minimal doivent être tracées. La résistance effective de la machine pour chaque taux d'excitation doit être précisée.

Les courbes caractéristiques des moteurs de traction alimentés directement ou indirectement à partir d'une ligne de contact, ou à partir d'une batterie placée sur le véhicule, doivent être tracées à la tension assignée, à l'exception des cas où le circuit comprend un équipement (tel que transformateur ou inductance) qui introduit aux bornes du moteur une chute de tension dépendant du courant. Pour ces exceptions, les courbes doivent être tracées pour la tension aux bornes du moteur correspondant à la tension nominale du réseau d'alimentation, et la courbe donnant la relation entre la tension du moteur et le courant doit figurer parmi les caractéristiques. Si ces informations ne sont pas disponibles, les courbes peuvent être tracées pour la tension assignée.

Les courbes caractéristiques des moteurs de traction exploités sur des véhicules thermoélectriques doivent normalement être tracées pour une tension correspondant à la tension la plus basse de la génératrice à son régime continu assigné, mais ces caractéristiques peuvent, après accord, être tracées pour d'autres tensions.

Les courbes caractéristiques des moteurs à courant alternatif à collecteur doivent être tracées pour la fréquence assignée et doivent représenter les variations du facteur de puissance en fonction du courant.

Si les moteurs sont exploités en freinage rhéostatique ou en freinage par récupération, les caractéristiques doivent représenter le fonctionnement correspondant à ce mode de freinage. Sauf accord contraire, les caractéristiques en freinage par récupération doivent être tracées pour une tension du moteur correspondant à 1,1 fois la tension nominale du réseau d'alimentation.

Les caractéristiques déclarées de freinage peuvent être obtenues soit par calculs déduits des essais en moteur, soit directement par des essais en freinage.

5.5 Caractéristiques des génératrices principales

Les courbes caractéristiques doivent représenter la tension en fonction du courant de charge. Dans le cas d'alternateurs destinés à fonctionner avec un redresseur, les caractéristiques doivent aussi représenter les grandeurs de sortie du redresseur. Un alternateur sans balai et son excitatrice doivent être considérés comme une machine unique.

Les courbes caractéristiques doivent être tracées pour la puissance d'entrée disponible pour la traction aux vitesses maximale et minimale du moteur thermique et, si le moteur thermique 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.

Chaque courbe doit être identifiée par les conditions d'excitation, la puissance absorbée, la vitesse de rotation de la génératrice et, le cas échéant, le numéro du cran de fonctionnement. De plus, le rendement sur la caractéristique de fonctionnement à pleine puissance doit être indiqué pour au moins deux régimes continus assignés.

NOTE En ce qui concerne l'intégration de la puissance d'excitation dans les pertes pour la détermination du rendement, voir 5.3.

Des caractéristiques similaires doivent être établies pour les génératrices des groupes moteurs-générateurs principaux, après prise en compte des caractéristiques du moteur d'entraînement et de l'équipement de régulation.

5.6 Caractéristiques des moteurs auxiliaires

Les courbes caractéristiques de vitesse, couple (ou puissance utile), rendement et, dans le cas d'un moteur à courant alternatif, de facteur de puissance doivent être tracées en fonction de l'intensité du moteur pour la fréquence et la tension assignées.

En variante, après accord entre constructeur et exploitant, les caractéristiques peuvent être tracées en fonction de la vitesse ou de la puissance utile.

Les courbes doivent être tracées pour toutes les conditions d'excitation existant en service.

5.7 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 et, 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.

Les caractéristiques des génératrices associées à un régulateur de tension doivent être tracées à la tension nominale et le domaine de variation du courant d'excitation doit être précisé.

Un alternateur sans balai et son excitatrice doivent être considérés comme une machine unique.

5.8 Caractéristiques des groupes moteurs-générateurs auxiliaires et des convertisseurs tournants

Les courbes caractéristiques de tension de sortie, puissance utile, vitesse de rotation et intensité absorbée doivent être tracées en fonction du courant utile, la machine étant alimentée à la tension minimale, assignée et maximale. Le rendement global pour le régime continu assigné doit être précisé. Les caractéristiques des machines à courant alternatif doivent inclure les courbes de facteur de puissance.

Les caractéristiques des machines associées à un régulateur de tension ou de fréquence doivent être tracées pour les valeurs nominales de tension et de fréquence. L'étendue du domaine de variation du courant d'excitation doit être précisée.

Si la machine entraîne une charge externe, par exemple un ventilateur, la puissance absorbée par cette charge externe doit être tracée ou précisée et on doit substituer à la détermination du rendement global celle de la puissance totale absorbée par la machine au régime continu assigné.

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 visible lorsque la machine est sur le sol de l'atelier. Cette plaque doit comporter au minimum les informations suivantes:

- a) nom du constructeur;
- b) désignation du type;
- c) numéro de série;
- d) année de fabrication.

Le numéro de série de la machine et la flèche de rotation, si elle est présente, doivent aussi être facilement lisibles lorsque la machine est installée dans le véhicule.

Un numéro de série ou un numéro d'identification unique doit être poinçonné à la fois sur le rotor et le stator de chaque machine.

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 et liste des essais

7.1 Catégories d'essais

7.1.1 Généralités

Il existe trois catégories d'essais:

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

7.1.2 Essais de type

Les essais de type ont pour but de déterminer les régimes assignés, les caractéristiques et les performances de nouveaux types de machines. Lorsque le lieu et/ou la méthode de fabrication sont changés, l'exploitant et le constructeur doivent conclure un accord sur les essais de type à refaire. En complément, les essais nécessaires pour établir les caractéristiques de base doivent être effectués sur d'autres machines conformément à 8.2.

Sauf accord contraire, la machine subissant les essais complets doit être l'une des dix premières de la série construite.

Une machine peut être dispensée des essais de type si le constructeur présente un procès-verbal, acceptable pour l'exploitant, d'essais de type déjà effectués sur une machine de même modèle électromagnétique, conçue pour les mêmes conditions d'environnement et les mêmes régimes assignés.

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 de type complet.

Après accord entre le constructeur et l'exploitant, un nombre supplémentaire de machines peut être soumis à des essais de type complets ou partiels au cours de la série.

Les machines soumises aux essais de type doivent aussi subir les essais de série.

7.1.3 Essais de série

Les essais de série ont pour but de démontrer le bon fonctionnement des machines sur les plans électrique et mécanique, ainsi que leur conformité aux caractéristiques de la machine qui a subi les essais de type.

Les essais de série spécifiés à l'Article 9 doivent être effectués sur toutes les machines, mais des essais différents peuvent être convenus par accord entre le constructeur et l'exploitant. Il peut également être convenu que seule une partie des machines construites dans la même série et choisies au hasard doit subir les essais de série à condition que les essais de survitesse et les essais diélectriques suivant 9.4 et 9.5 soient effectués sur toutes les machines.

7.1.4 Essais d'investigation

Les essais d'investigation sont des essais spéciaux à caractère facultatif qui sont effectués en vue d'obtenir des informations complémentaires. Ils ne doivent être réalisés que s'il y a eu accord entre le constructeur et l'exploitant avant la commande. Les résultats de ces essais ne doivent pas être opposables à l'acceptation de la machine, à moins qu'un accord sur ce point n'ait été conclu avant la commande.

7.2 Liste des essais

Le Tableau 1 donne la liste des essais prescrits pour la conformité à la présente norme.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60349-1:2010

Tableau 1 – Liste des essais

Catégorie de machine (paragraphe 1.3)	Essai	Echauffement	Bon fonctionnement	Caractéristiques	Commutation	Transitoire	Démarrage	Bruit	Survitesse		Diélectriques	Vibrations		Faux rond du collecteur				
									Type	Série		Type	Série		Type	Série		
																	Type	Série
Catégorie d'essai (paragraphe 7.1)	Type	Série	Type	Série	Type	Série	Type	Série	Type	Série	Facultatif							
												Type	Série					
														Type	Série			
Article ou paragraphe																		
Moteurs de traction (1.3.1)	Collecteur	8.1	9.1	8.2.2	9.2.2	8.3.2	9.3.2	8.4.2*	8.6.2*	Annexe C	NA	9.4.2	9.5	8.8	9.6	9.7		
	Rotor bobiné	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3	NA	NA	NA	NA	Annexe C	NA	9.4.2	9.5	8.8	9.6	9.7		
	Rotor à cage	8.1	NA	8.2.3	9.2.3	NA	NA	NA	NA	Annexe C	8.7	NA	9.5	9.5	8.8	9.6	9.7	
Génératrices principales (1.3.2)	Courant continu	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3	8.3.3	9.3.3	NA	NA	Annexe C	NA	9.4.3	9.5	8.8	9.6	9.7		
	Courant alternatif	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3/4	NA	NA	8.5	NA	Annexe C	NA	9.4.3	9.5	8.8	9.6	NA		
Groupes moteurs-générateurs principaux (1.3.3)	Moteur	8.1	9.1	8.2.2	9.2.2	8.3.2*	9.3.2*	8.4.2*	8.6.3	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*		
	Génératrice	8.1	9.1	8.2.3	9.2.3	8.3.3*	9.3.3*	8.5	NA	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*		
Moteurs auxiliaires (1.3.4)	Collecteur	8.1	9.1	8.2.4	9.2.5	8.3.4	9.3.4	8.4.3/4*	8.6.4	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7		
	Rotor bobiné	8.1	9.1	8.2.4	9.2.5	NA	NA	NA	8.6.4	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	NA		
	Rotor à cage	8.1	9.1	8.2.4	9.2.5	NA	NA	NA	8.6.4	Annexe C	8.7	NA	9.5	9.5	8.8	NA		
Génératrices auxiliaires (1.3.5)	Courant continu	8.1	9.1	8.2.5	9.2.6	8.3.4	9.3.4	NA	NA	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7		
	Courant alternatif	8.1	9.1	8.2.5	9.2.6	NA	NA	8.5	NA	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	NA		
Groupes moteurs-générateurs auxiliaires (1.3.6)	Moteur	8.1	9.1	8.2.6	9.2.7	8.3.4*	9.3.4*	8.4.3/4	8.6.4	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*		
	Génératrice	8.1	9.1	8.2.6	9.2.7	8.3.4*	9.3.4*	8.5	NA	Annexe C	NA	9.4.5	9.5	8.8	9.6	9.7*		
NA = Non applicable.																		
* Non applicable à toutes les machines de cette catégorie; se référer à l'article correspondant.																		
toutes les machines. y compris celles avant subi les essais de type, doivent subir les essais de série.																		

NA = Non applicable.

* Non applicable à toutes les machines de cette catégorie; se référer à l'article correspondant.

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

8 Essais de type

8.1 Essais d'échauffement

8.1.1 Généralités

Les essais doivent être effectués aux régimes assignés garantis sauf pour les alternateurs principaux pour lesquels, après accord entre le constructeur et l'exploitant, les essais peuvent être effectués comme suit:

- a) essai en court-circuit à la fréquence assignée, le courant d'excitation étant réglé pour que le courant de sortie provoque un échauffement des bobinages statoriques identique à celui qui existerait pour un essai en charge au régime continu assigné et à la tension la plus basse;
- b) essai à vide à la fréquence assignée, le courant d'excitation étant réglé à la valeur spécifiée pour le régime continu assigné et à la tension la plus élevée.

Les alternateurs utilisés avec redresseur de puissance doivent être soumis aux essais de type avec leur redresseur ou avec un redresseur ayant des caractéristiques similaires.

Dans le cas où l'une ou plusieurs des conditions suivantes sont remplies, l'essai doit être effectué pour des formes de courant et de tension proches de celles existant en service:

- 1) si le taux d'ondulation du courant en service, au régime assigné garanti, dépasse 10 %;
- 2) si l'excitation est réglée par impulsions.

S'il n'est pas possible de satisfaire à cette exigence, une méthode permettant de tenir compte des différences entre les conditions d'essai et les conditions de service doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'exploitant.

NOTE 1 Dans le cas de machines fonctionnant sous courant alternatif monophasé redressé à la fréquence industrielle (50 Hz ou 60 Hz), les essais peuvent être effectués à la fréquence d'alimentation du lieu de fabrication, que cette fréquence diffère ou non de celle existant sur les lieux d'exploitation, sous réserve que le taux d'ondulation du courant ne soit pas inférieur à celui existant en service. Les erreurs introduites dans les résultats sont alors négligeables et aucune correction n'est nécessaire.

NOTE 2 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 3 Une température est définie comme stabilisée lorsque l'échauffement est inférieur à 2 K pendant la dernière heure d'essai.

NOTE 4 Si les courants d'excitation de base diffèrent des valeurs spécifiées, les essais sont à effectuer avec les valeurs de base.

8.1.2 Ventilation durant les essais d'échauffement

Les essais doivent être effectués avec la ventilation disposée comme en service, en laissant en place tous les organes susceptibles d'influencer l'échauffement de la machine y compris tout gainage ou filtre considéré comme faisant partie du véhicule, ou avec un montage conduisant à des conditions de fonctionnement équivalentes.

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

En général, aucun refroidissement correspondant à celui produit par le mouvement du véhicule ne doit être prévu; toutefois, dans des cas spéciaux tels que celui de moteurs de traction complètement fermés où l'effet de ce refroidissement est particulièrement important, il peut être employé après accord entre le constructeur et l'exploitant.

8.1.3 Appréciation des résultats

Les échauffements des enroulements, collecteurs et bagues à l'origine du refroidissement ne doivent pas dépasser les valeurs données au Tableau 2.

8.1.4 Limites d'échauffement

Les différentes classes thermiques de matériaux isolants sont définies dans la CEI 60085.

Le Tableau 2 donne les limites admissibles des échauffements mesurés au banc d'essai par rapport à la température de l'air de refroidissement, pour les enroulements et autres parties isolées en fonction de différentes classes thermiques des matériaux utilisés actuellement dans la construction des machines auxquelles cette norme s'applique.

Si diverses parties de la même machine sont isolées avec des matériaux de classes différentes, les limites d'échauffement relatives à chaque partie doivent être celles de la classe d'isolation correspondante.

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

Partie de la machine	Méthode de mesure	Classe thermique du système d'isolation			
		130(B)	155(F)	180(H)	200
Enroulements fixes ou enroulements tournants d'excitation des alternateurs ou des moteurs synchrones	Résistance	130 K	155 K	180 K	200 K
Tous autres enroulements tournants	Résistance	120 K	140 K	160 K	180 K
Collecteurs ou bagues (voir note)	Thermomètre électrique	120 K	120 K	120 K	120 K
Rotors à cage Enroulements amortisseurs	Thermomètre électrique	L'échauffement ne doit pas atteindre un niveau risquant d'endommager les autres bobinages ou d'autres parties de la machine			

Pour les machines entièrement fermées, les limites du Tableau 2 sont augmentées de 10 K.

Quand 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 préalable entre le constructeur et l'exploitant.

NOTE La température du collecteur n'est que l'un des nombreux facteurs influant sur les qualités de la commutation et, bien qu'en général la commutation soit améliorée par une réduction de la température, ce n'est pas toujours le cas.

8.1.5 Essai d'échauffement de surcharge de courte durée

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

Pour l'enroulement critique (voir Note 1), la température de départ donnée dans le Tableau 3 peut être obtenue par la méthode suivante. A la suite d'un essai en régime assigné préliminaire, le relevé de la courbe de refroidissement de l'enroulement critique est poursuivi. L'instant où son échauffement atteint la valeur de «début d'essai» du Tableau 3 (voir Note 4) peut être prédéterminé par extrapolation de la courbe avec une anticipation ne dépassant pas 5 min avant la dernière lecture (voir Notes 2 et 3). La surcharge spécifiée doit alors être appliquée à cet instant prédéterminé avec les conditions normales de ventilation et doit être

maintenue pendant la durée spécifiée, après quoi l'essai doit être arrêté et l'échauffement déterminé par une mesure de la résistance dans les conditions de l'Article A.5.

Si l'échauffement ainsi mesuré ne diffère pas de plus de 20 K de la valeur finale du Tableau 3, un calcul de correction peut être effectué sur le courant ou la durée assigné(e), afin de conduire aux échauffements du Tableau 3.

Si l'échauffement mesuré diffère de plus de 20 K de la valeur du Tableau 3, l'essai doit être répété avec des valeurs corrigées de courant ou de durée.

Tableau 3 – Valeurs des échauffements pour les régimes assignés de surcharge de courte durée

Partie de la machine	Classe thermique du système d'isolation			
	130(B)	155(F)	180(H)	200
Enroulements fixes ou enroulements tournants d'excitation des alternateurs ou des moteurs synchrones – valeur au début de l'essai – valeur finale	85 K 130 K	100 K 155 K	120 K 180 K	130 K 200 K
Tous autres enroulements tournants – valeur au début de l'essai – valeur finale	75 K 120 K	85 K 140 K	100 K 160 K	110 K 180 K

NOTE 1 L'enroulement critique d'une machine à collecteur est normalement son induit. Pour les machines polyphasées, cet enroulement est normalement le stator.

NOTE 2 Si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur, les températures d'autres parties de la machine (par exemple la cage rotorique, le collecteur, les roulements, etc.) peuvent être mesurées.

NOTE 3 Pour les machines totalement fermées, il convient d'augmenter de 10 K les valeurs d'échauffement données au Tableau 3.

NOTE 4 Pour obtenir l'échauffement de début d'essai, une autre méthode peut être employée après accord entre le constructeur et l'exploitant.

8.2 Essais et tolérances caractéristiques

8.2.1 Généralités

Les essais nécessaires pour démontrer la conformité avec les caractéristiques spécifiées peuvent être des essais en charge effectués sur la machine chaude suivant toute méthode appropriée (des exemples sont donnés à l'Annexe B). La mesure directe des puissances d'entrée et de sortie ne doit être utilisée que si des équipements de mesure de haute précision sont disponibles. Les valeurs de rendement calculées à partir des essais doivent être corrigées pour être ramenées à la température de référence, ainsi que toutes les autres valeurs si cette correction est importante.

Les essais de caractéristiques des machines fonctionnant sous courant ondulé peuvent être effectués sous courant continu. Dans ce cas, les pertes Joule additionnelles provoquées par le courant ondulé doivent être prises en compte pour le calcul du rendement suivant les indications données à l'Annexe B.

Les essais de rendement et de pertes ne sont requis que pour les machines devant être soumises aux essais de type complets définis en 7.1.2.

Les machines réversibles doivent être soumises à essai dans les deux sens de rotation.

8.2.2 Moteurs de traction à collecteur

8.2.2.1 Des relevés d'essai en nombre suffisant (par exemple quatre ou cinq pour chaque courbe) doivent être effectués pour permettre le tracé des courbes caractéristiques de base correspondant aux caractéristiques spécifiées.

Les courbes caractéristiques de base vitesse/intensité doivent être obtenues en portant la moyenne des vitesses des quatre premières machines soumises à essai. Ces valeurs moyennes ne doivent pas différer des valeurs correspondantes spécifiées d'un écart supérieur aux tolérances de calcul données au Tableau 4. Les vitesses de chaque machine ne doivent pas s'écarter des vitesses correspondantes sur la caractéristique de base d'une valeur supérieure aux tolérances de fabrication définies dans le même Tableau.

Les courbes caractéristiques de base couple/courant doivent être calculées à partir des courbes caractéristiques vitesse/courant en utilisant des valeurs de rendement déterminées lors de l'essai de type.

NOTE 1 Comme indiqué en 5.4, les caractéristiques de base de freinage peuvent soit être calculées à partir des essais en moteur, soit déduites d'essais en freinage. Les caractéristiques de freinage ne comportent pas de tolérance, la conformité de la machine avec les caractéristiques électromagnétiques de base spécifiées ayant été démontrée lors des essais en moteur.

Tableau 4 – Tolérances sur la vitesse des moteurs de traction à collecteur

Condition d'excitation ou taux d'excitation	Tolérance de calcul %		Tolérance de fabrication %	
	Point Car1	Point Car2	Point Car1	Point Car2
Champ maximal	± 5	± 3	± 3,5	± 3
Champ compris entre 100 % et 50 % du champ maximal	± 6	± 4	± 5	± 3
Champ inférieur à 50 % du champ maximal	± 7	± 5	± 7	± 5

Le point Car1 correspond soit au courant indiqué sur la courbe caractéristique spécifiée ou la courbe caractéristique de base, pour une vitesse égale à 80 % de la vitesse maximale d'utilisation, soit au courant minimal indiqué si la vitesse à ce point est inférieure à 80 % de la vitesse maximale d'utilisation (voir Figure 1).

Le point Car2 correspond à 90 % du courant maximal indiqué sur la courbe caractéristique (voir Figure 1).

Entre ces deux points, les tolérances doivent varier linéairement en fonction du courant.

Lorsque les caractéristiques d'une machine à excitation séparée diffèrent de celles de la Figure 1 de sorte que le Tableau 4 ne peut être appliqué (par exemple une caractéristique montante), les tolérances doivent faire l'objet d'un accord entre constructeur et exploitant.

NOTE 2 Une telle machine pourrait être traitée de façon analogue à une génératrice principale (voir 8.2.3) en ce sens que la caractéristique vitesse/courant peut être modifiée à la suite des essais de type avec, pour les essais de série, des valeurs modifiées de la tolérance sur la vitesse. Il convient que tout ajustement de l'excitation spécifiée soit dans les possibilités du système de contrôle et du ou des régimes assignés garantis pour l'enroulement de champ.

Les tolérances doivent être majorées de 1 % dans le cas de moteurs de puissance assignée garantie inférieure à 75 kW.

Les valeurs de base des courants d'excitation des moteurs à excitation séparée et les taux d'excitation des moteurs à excitation série peuvent s'écarter des valeurs spécifiées sous

réserve qu'elles restent compatibles avec le dimensionnement de l'équipement de réglage d'excitation.

8.2.2.3 Les pertes au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser de plus de 15 % les valeurs déduites des caractéristiques spécifiées.

NOTE Lorsque, pour les pertes de transmission, on utilise une valeur conventionnelle et non une valeur mesurée, il convient que la comparaison entre les pertes spécifiées et les pertes mesurées soit limitée aux pertes de la seule machine.

8.2.3 Génératrices principales (voir Figure 2)

8.2.3.1 Les alternateurs prévus pour fonctionner avec redressement à la sortie doivent normalement être soumis à essai avec un redresseur approprié. Un alternateur sans balai et son excitatrice doivent être considérés comme une machine unique.

S'il n'est pas possible de soumettre à essai les alternateurs principaux à pleine puissance, des essais à vide et en court-circuit doivent être effectués pour vérifier les caractéristiques et déterminer le rendement par la méthode de sommation des pertes, comme indiqué à l'Annexe B. Le détail des essais doit faire l'objet d'un accord entre et exploitant et constructeur.

8.2.3.2 Dans le cas de génératrices régulées, un nombre suffisant de relevés doit être effectué pour permettre l'établissement des courbes caractéristiques de base directement à partir des mesures ou par calcul à partir des résultats d'essais à vide et en court-circuit. Les courbes doivent être établies sur la base de la moyenne des essais des quatre premières machines.

A ce stade, le constructeur doit avoir la liberté de modifier les valeurs d'excitation, les valeurs fixées devant alors être maintenues pour tous les essais ultérieurs. On doit démontrer aussi que le courant d'excitation nécessaire pour atteindre les caractéristiques de base est compatible avec le dimensionnement du système de régulation.

Le courant maximal et la tension maximale indiqués sur la partie régulée de la caractéristique de base de pleine puissance (points Car1 et Car2) ne doivent pas s'écarter de plus de ± 5 % des valeurs indiquées sur les courbes caractéristiques spécifiées.

8.2.3.3 Dans le cas d'une génératrice fonctionnant sur ses caractéristiques intrinsèques, des relevés en nombre suffisant doivent être effectués sur les quatre premières machines soumises à essai pour permettre le tracé des caractéristiques de base à partir des moyennes des quatre essais. Les valeurs d'excitation peuvent être modifiées par rapport aux courbes caractéristiques spécifiées, mais les valeurs choisies doivent alors être maintenues pour tous les essais ultérieurs.

Le courant maximal, la tension au courant assigné et la tension à vide (points Car1, Car2 et Car3) ne doivent pas s'écarter de plus de ± 5 % des valeurs portées sur les courbes spécifiées.

8.2.3.4 Dans le cas de génératrices régulées comme dans celui de génératrices fonctionnant sur ses caractéristiques intrinsèques, les pertes aux deux régimes continus assignés (définis en 3.1.2) ne doivent pas dépasser la valeur spécifiée de plus de 15 %.

8.2.4 Moteurs auxiliaires

Des relevés en nombre suffisant doivent être effectués sur les quatre premières machines soumises à essai pour permettre l'établissement des courbes caractéristiques de base correspondant aux caractéristiques spécifiées à partir de la moyenne des relevés.

En complément, les courbes de base de la vitesse et du couple (ou de la puissance utile) doivent être déterminées à la tension maximale et à la tension minimale de la machine si elles diffèrent de plus de $\pm 5\%$ de la valeur assignée.

Les courbes caractéristiques de base pour des valeurs de courants entre 0,8 et 1,2 fois le régime assigné garanti ne doivent pas différer des caractéristiques spécifiées de plus de $\pm 5\%$.

Les pertes au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser la valeur spécifiée de plus de 15 %.

8.2.5 Génératrices auxiliaires

Un nombre suffisant de relevés doit être effectué lors des essais des quatre premières machines pour permettre l'établissement des courbes caractéristiques de base correspondant aux caractéristiques spécifiées à partir de la moyenne des valeurs relevées. Pour les machines utilisées avec un régulateur de tension, au moins un essai doit être effectué avec le régulateur en service.

La tension de sortie mesurée d'une génératrice non régulée ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 5\%$ de la caractéristique spécifiée pour tous les points de fonctionnement compris entre la marche à vide et le régime assigné garanti. La tolérance de tension d'une génératrice régulée est fonction des caractéristiques du régulateur et non de celles de la machine. Les courants d'excitation peuvent s'écarter des valeurs spécifiées sous réserve qu'ils restent compatibles avec le dimensionnement du régulateur.

Les pertes au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser les valeurs spécifiées de plus de 15 %.

De plus, les caractéristiques à vide et en court-circuit des alternateurs doivent être relevées à la vitesse assignée et des caractéristiques moyennes doivent être établies pour servir de référence pour les essais de série.

8.2.6 Groupes moteurs générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants

Un nombre suffisant de relevés doit être effectué lors des essais des quatre premières machines pour permettre l'établissement des courbes caractéristiques de base correspondant aux caractéristiques spécifiées à partir de la moyenne des valeurs relevées. Dans le cas des machines régulées, au moins un essai doit être effectué avec le régulateur en service.

Pour des machines non régulées, la caractéristique de base de la tension de sortie ne doit pas différer de la caractéristique spécifiée de plus de $\pm 5\%$ pour tout point de fonctionnement compris entre la marche à vide et le courant assigné. Sauf spécification contraire, la caractéristique courant-vitesse ne comporte pas de tolérances.

Les tolérances de tension et de fréquence d'une machine régulée sont fonction des caractéristiques du régulateur et non de celles de la machine.

Le courant d'excitation d'une machine régulée à tout point de fonctionnement sur la caractéristique de base doit se situer dans une plage prédéterminée. Celle-ci peut différer de la plage spécifiée sous réserve que les valeurs corrigées restent compatibles avec le dimensionnement du régulateur.

Les pertes de la machine au régime assigné garanti ne doivent pas dépasser de plus de 15 % la valeur spécifiée sauf pour les machines entraînant une charge externe; dans ce cas la puissance absorbée pour le régime assigné garanti ne doit pas dépasser la valeur spécifiée de plus de 5 %.

8.3 Essais de commutation

8.3.1 Généralités

Les résultats des essais de commutation doivent être enregistrés conformément à la CEI 60638. Les essais de commutation doivent être supportés par les machines sans détérioration mécanique ni amorçage, ni dommage permanent, les dommages permanents étant ceux susceptibles d'affecter le fonctionnement correct de la machine postérieurement à l'exécution de l'essai.

Les essais doivent être exécutés avec une machine chaude, chaque point d'essai étant maintenu pendant une durée inférieure ou égale à 30 s. Si, à la suite d'essais à courant élevé, la machine présente des signes d'échauffement excessif, on peut effectuer des fonctionnements à régime réduit afin de ramener la température de fonctionnement à une valeur plus normale.

Les machines fonctionnant en excitation séparée ou compound doivent être soumises à essai avec des courants d'excitation appropriés au point d'essai considéré.

Les machines doivent être soumises à essai pour chacun des sens de rotation utilisés en service dans l'application particulière. Les balais ne doivent pas être déplacés entre les essais pour les différents sens de rotation.

Les essais peuvent être exécutés dans n'importe quel ordre désiré en ce qui concerne les courants ou les sens de rotation. Quand le sens de rotation est inversé, la machine peut être stabilisée pendant une durée qui ne dépasse pas 15 min à un régime de vitesse et de courant choisi pour permettre d'assurer une portée convenable des balais sur le collecteur pour ce nouveau sens de rotation.

Les machines ne tournant normalement que dans une seule direction doivent fonctionner pendant un temps suffisant pour s'assurer d'un rodage complet des balais avant chaque point d'essai.

Les moteurs à courant alternatif et à courant ondulé doivent être normalement soumis à essai à la fréquence assignée pour les moteurs à courant alternatif et à la fréquence d'ondulation en service ainsi qu'avec le taux d'ondulation assigné pour les moteurs à courant ondulé. Dans certains cas, la fréquence peut être modifiée conformément à la Note 1 de 8.1.1.

8.3.2 Moteurs de traction (voir Figure 1)

Les essais de commutation doivent être effectués aux points suivants.

- Point de commutation n° 1 (Com1): à la vitesse maximale indiquée sur la caractéristique, le moteur absorbant le courant maximal qui peut être rencontré à cette vitesse en service.
- Point de commutation n° 2 (Com2): au courant correspondant au régime assigné garanti.
- Point de commutation n° 3 (Com3): au courant maximal indiqué sur la courbe caractéristique.

Les essais aux points Com2 et Com3 doivent être effectués aux niveaux maximaux et minimaux d'excitation rencontrés pour ces points en service.

La tension d'essai doit être choisie comme suit:

- pour les moteurs alimentés directement ou indirectement à partir d'une ligne de contact:
 - tension correspondant à la tension la plus élevée du réseau;
- pour les moteurs d'un véhicule thermoélectrique:
 - tension aux bornes du moteur correspondant au fonctionnement sur la caractéristique de puissance maximale de la génératrice principale;

- pour les moteurs alimentés par batterie:
 - tension correspondant à la tension à vide de la batterie complètement chargée.

Si, lors de l'exécution des essais aux points Com2 et Com3, aux tensions indiquées ci-dessus, la vitesse du moteur dépasse celle au point Com1, la tension doit être réduite pour obtenir la vitesse correspondant à ce point.

Si, dans l'un quelconque des cas ci-dessus, la tension maximale qui peut être appliquée au moteur est limitée par des dispositifs de commande, les essais doivent être effectués à cette tension.

De plus, dans le cas de moteurs à excitation série connectés en permanence en série et ne comportant ni couplage mécanique ni système automatique de protection antipatinage, un essai de commutation doit être effectué au champ maximal pour un courant réglé à un niveau tel que le moteur fonctionne à sa vitesse maximale lorsqu'il est alimenté à 1,5 fois sa tension assignée pour un moteur alimenté par une ligne de contact ou une batterie, ou à 1,5 fois sa tension maximale pour un moteur utilisé sur un véhicule thermoélectrique.

NOTE L'utilisation d'équipements dont l'action est limitée à la détection du patinage et qui laisse l'initiative des réactions correctives à la diligence du conducteur ne dispense pas de cet essai.

Les moteurs devant fonctionner en freinage rhéostatique ou freinage par récupération doivent subir des essais de commutation à un nombre de points suffisant (par exemple quatre ou cinq) de vitesse et de courant à l'intérieur de l'enveloppe des courbes caractéristiques de freinage.

Si les caractéristiques des circuits de freinage rhéostatique ou par récupération sont telles que, en service, le taux d'ondulation de courant unidirectionnel est supérieur à 10 %, les essais de commutation en freinage doivent être effectués dans les conditions s'approchant le plus possible de celles existant en service.

8.3.3 Génératrices principales (voir Figure 2)

Les essais de commutation doivent être effectués pour les points suivants sur la caractéristique de pleine puissance comme indiqué à la Figure 2.

- Com1: fonctionnement à l'intensité de courant maximale;
- Com2: fonctionnement à l'intensité de courant correspondant au régime continu assigné à la tension la plus basse;
- Com3: fonctionnement à l'intensité de courant correspondant au point de décharge ou, pour une génératrice non régulée, à une intensité égale à 50 % de celle correspondant au point Com2.

8.3.4 Moteurs et génératrices auxiliaires et groupes moteurs-générateurs

Les essais de commutation doivent être effectués pour, au maximum, quatre points de fonctionnement sélectionnés pour couvrir toute l'étendue des caractéristiques de la machine aux tensions maximales et minimales définies en 3.5.

8.4 Essais en régime transitoire

8.4.1 Généralités

Des essais en régime transitoire doivent être effectués pour les moteurs à courant continu et à courant ondulé alimentés directement ou indirectement à partir de la ligne de contact. Ces essais ne sont pas exigés si l'alimentation de la machine comporte un équipement électronique qui, en cas d'interruption ou de coupure brusque de la tension, limite le courant à la reconnexion à une valeur inférieure ou égale à la valeur maximale indiquée sur la caractéristique.

La machine doit supporter chaque essai sans détérioration mécanique, ni amorçage ou dommage permanent, un dommage permanent étant compris comme un défaut qui empêcherait le fonctionnement normal de la machine après l'essai.

Il est reconnu que, pour les moteurs de grande puissance, des limitations inhérentes à l'installation d'essai peuvent empêcher le déroulement de l'essai suivant la procédure spécifiée. Dans de tels cas, le constructeur et l'exploitant doivent se mettre d'accord sur une procédure modifiée.

8.4.2 Moteurs de traction et moteurs des groupes moteurs-générateurs principaux

L'essai doit être réalisé à l'aide d'un interrupteur manuel ou automatique destiné à couper l'alimentation provenant de la ligne de contact lorsque le moteur a atteint son courant assigné garanti, puis à la reconnecter environ 1 s après la coupure.

Si le circuit normal comprend un dispositif automatique d'insertion de résistance ou toute autre protection contre les courants excessifs de rétablissement, l'essai doit être effectué soit avec ce dispositif en service, soit avec un temps de coupure égal au temps de fonctionnement du dispositif.

La vitesse de rotation du moteur doit être maintenue aussi constante que possible pendant la période d'interruption.

Si l'affaiblissement de champ s'effectue par un moyen unique (shuntage du champ, changement de cran ou, dans le cas d'une excitation séparée, régulation du courant), l'essai doit être effectué trois fois au champ maximal et trois fois au champ minimal à un intervalle de quelques minutes en employant des systèmes d'affaiblissement de champ identiques ou équivalents à ceux employés en service.

Si, par contre, l'affaiblissement de champ s'effectue à certains niveaux par une méthode et à d'autres niveaux par une méthode différente, l'essai doit être effectué trois fois au niveau d'excitation maximal et trois fois au niveau d'excitation minimal correspondant à chacune des méthodes d'affaiblissement de champ utilisées.

On doit s'assurer à l'aide d'un enregistreur rapide approprié qu'à l'instant du rétablissement de la tension, la tension existant aux bornes du moteur (ou, si une inductance est branchée de façon permanente en série avec le moteur, la tension aux bornes du moteur et de l'inductance) est au moins égale à la tension correspondant à la tension la plus élevée du réseau d'alimentation et qu'ensuite elle ne tombe pas au-dessous de 0,9 fois la valeur correspondant à la tension nominale du réseau d'alimentation.

8.4.3 Moteurs auxiliaires, groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants auxiliaires

Les essais doivent être effectués avec les équipements de contrôle et de protection permettant de simuler les conditions normales de service. Dans le cas d'un groupe moteur-générateur, les régulateurs de tension et de fréquence doivent être intégrés dans le circuit.

L'alimentation doit être interrompue et rétablie successivement à quatre reprises, de façon à permettre, entre les interruptions successives, le rétablissement du régime normal. Le moteur doit fonctionner pour cet essai à son régime assigné garanti et au champ minimal de fonctionnement en service à ce régime. Deux essais doivent être effectués avec un intervalle d'environ 1 s entre l'interruption et le rétablissement de la tension, et deux autres essais avec un intervalle légèrement inférieur au temps de réaction du système de protection. La tension d'alimentation doit être conforme aux conditions définies en 8.4.2.

Dans le cas de machines qui peuvent récupérer sur le circuit principal du véhicule pendant la durée de l'interruption de l'alimentation, cette condition doit être simulée en court-circuitant la machine pendant l'interruption ou par tout autre moyen approprié. Cela n'est pas nécessaire

si le circuit normal comprend des moyens (tels qu'une diode) afin d'empêcher d'une manière certaine le feed-back.

8.4.4 Essai de variation brusque de tension sur les moteurs auxiliaires, les groupes moteurs-générateurs auxiliaires et les convertisseurs tournants auxiliaires

La machine doit être alimentée à sa tension minimale au travers d'une résistance série qui, lorsqu'elle est court-circuitée, provoque une remontée de la tension jusqu'à son niveau maximal. Les systèmes de commande et de protection de la machine, y compris le régulateur de tension du générateur, doivent être aussi disposés dans le circuit.

L'essai doit être effectué cinq fois consécutives, les conditions de tension minimale étant rétablies entre chaque variation brusque de tension. On doit vérifier sur un enregistreur rapide que la tension d'alimentation après l'élimination de la résistance ne tombe pas au-dessous de la tension nominale du réseau d'alimentation.

Les moteurs auxiliaires entraînant des charges mécaniques doivent être soumis à essai avec la charge normale du moteur en fonctionnement à la tension et au champ minimaux.

Les groupes moteurs-générateurs doivent être soumis à essai à la puissance assignée garantie de la génératrice ou à la puissance maximale possible sous la tension d'alimentation minimale, si celle-ci est inférieure à la valeur assignée garantie.

8.5 Essais de court-circuit des alternateurs principaux et auxiliaires

Les alternateurs principaux et auxiliaires doivent être soumis à des essais qui simulent les conditions de défaut. Pour ces essais, le circuit doit comprendre les systèmes de protection et d'excitation existant en service ou leurs équivalents.

Chaque essai doit consister à la mise en court-circuit de la machine pendant une durée de 5 s, pour la vitesse assignée à vide et une valeur du courant d'excitation correspondant au régime assigné garanti.

A l'issue de chaque essai, on doit constater le fonctionnement de la protection et vérifier que la machine ne présente aucun dommage électrique ou mécanique.

Le court-circuit doit être appliqué comme suit:

- alternateurs à sortie principale redressée:
un essai doit être effectué avec court-circuit du pont complet et un autre avec court-circuit d'un seul bras de pont;
- alternateurs à sortie principale alternative:
un essai doit être effectué en court-circuitant toutes les phases entre elles et un essai complémentaire en court-circuit simple entre phases ou, dans le cas d'un réseau à neutre directement mis à la terre, avec un court-circuit simple entre phase et neutre.

8.6 Essais de démarrage

8.6.1 Généralités

Seules les machines des types suivants doivent être soumises à un essai de démarrage:

- a) moteurs monophasés à collecteur à courant alternatif destinés à la traction des locomotives ou d'autres véhicules prévus pour des fonctions de traction similaires;
- b) groupes moteurs-générateurs principaux;
- c) moteurs auxiliaires, groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants auxiliaires.

8.6.2 Moteurs monophasés à courant alternatif pour locomotives

Normalement, sauf accord contraire lors de la commande, le moteur doit être soumis à essai à son courant maximal pendant 1 min à chaud. L'alimentation doit être établie à la fréquence assignée et à une tension telle que la vitesse de rotation du moteur soit environ 5 % de sa vitesse maximale d'utilisation. La ventilation doit être équivalente à celle en service.

L'essai doit être effectué dans les deux sens de rotation et ne doit pas provoquer de dommage permanent du collecteur, un dommage permanent étant défini comme étant un dommage qui empêche le fonctionnement satisfaisant ultérieur de la machine en service.

8.6.3 Groupes moteurs-générateurs principaux

Les essais doivent être effectués avec l'appareillage normal de démarrage et de protection et, dans le cas de moteurs à courant alternatif, à la fréquence assignée.

Les machines prévues pour fonctionner en courant ondulé ou avec un réglage par impulsion doivent être soumises à essai avec des conditions d'alimentation analogues à celles existant en service.

Le moteur doit être soumis à deux démarrages successifs à la tension minimale suivis de deux démarrages successifs à la tension maximale avec un intervalle de 5 min entre les démarrages. Le moteur doit être chargé de façon que le couple développé soit sensiblement identique à celui existant au démarrage dans les conditions de service.

Les démarrages doivent s'effectuer de façon satisfaisante sans échauffement excessif d'aucune partie de la machine, sans amorçage ni dommage permanent du collecteur. Pendant l'essai à la tension maximale, la tension ne doit pas descendre au-dessous de 0,9 fois la valeur maximale définie en 3.4. Si des limitations dues à l'installation d'essai empêchent d'obtenir ces conditions, le constructeur et l'exploitant peuvent convenir d'une procédure en variante.

8.6.4 Moteurs auxiliaires, groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs tournants auxiliaires

Les essais doivent être effectués avec l'appareillage normal de démarrage et de protection et, dans le cas de moteurs à courant alternatif, à la fréquence assignée.

Les machines prévues pour fonctionner en courant ondulé ou avec un réglage par impulsion doivent être soumises à essai avec des conditions d'alimentation analogues à celles existant en service.

Le moteur doit être soumis à cinq démarrages successifs à la tension minimale, suivis de cinq démarrages à la tension maximale, avec un intervalle de 2 min entre les démarrages. Le moteur doit être chargé de façon que le couple développé soit approximativement identique à celui existant au démarrage dans les conditions de service.

Les conditions d'alimentation et les performances à obtenir doivent être celles spécifiées en 8.6.3.

8.7 Essais de survitesse

Sauf accord contraire, les essais de survitesse sont des essais de type seulement pour les machines autres que les machines à collecteur ou à rotor bobiné. Les détails des essais sont donnés en 9.4.

8.8 Essais de vibration

8.8.1 Caractéristiques des vibrations générées en interne

Un mesurage quantitatif de vibrations est à considérer comme un essai de type.

Pour la mesure des vibrations au cours d'un essai de type, la machine peut être placée simplement 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 être 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 d'une machine à vitesse variable, les mesures doivent être effectuées sur un nombre de points de fonctionnement suffisant pour couvrir le domaine de fonctionnement complet.

Des vitesses de vibration supérieures aux valeurs limites peuvent être constatées dans le cas de résonance du montage d'essai. Dans ce cas, il ne doit pas en être tenu compte, sous réserve que cette résonance ne coïncide pas avec une valeur discrète de vitesse de fonctionnement de la machine et que le niveau général de vitesse de vibration soit à l'intérieur du domaine limite.

Si une résonance est constatée à une valeur discrète de vitesse de fonctionnement, l'essai doit être repris dans des conditions de montage au banc différentes.

NOTE L'effet sur la machine de vibrations générées à l'extérieur ne fait pas partie du domaine d'application de cette norme. Il convient de se référer à la CEI 61373.

9 Essais de série

9.1 Essai de bon fonctionnement de courte durée

9.1.1 Généralités

Un essai de bon fonctionnement de courte durée doit être effectué sur toutes les machines à l'exception de celles à rotor à cage.

9.1.2 Conditions d'essai

La machine doit fonctionner en charge, normalement pendant 1 h avec démarrage à froid. Les conditions d'essai (tension, courant, excitation et ventilation) doivent être choisies pour obtenir un échauffement final des enroulements aussi proche que possible de celui obtenu en fin d'essai de type au régime assigné garanti.

Les moteurs qui sont utilisés en service en courant ondulé doivent être soumis à essai en courant continu.

Les alternateurs peuvent être soumis à essai en court-circuit. Pour les alternateurs prévus pour fonctionner avec redresseur, l'essai peut être effectué sans redresseur.

Les machines peuvent être soumises à essai en opposition, l'une fonctionnant comme moteur et l'autre comme génératrice.

La méthode de mesure des températures et des résistances doit être conforme à l'Annexe A, à l'exception des relevés des courbes d'échauffement et de refroidissement qui doivent être établis en conformité avec 9.1.3.

9.1.3 Relevé des courbes d'échauffement et de refroidissement

Les courbes d'échauffement et de refroidissement doivent être relevées comme lors de l'essai de type sur les dix premières machines d'une commande. On doit prendre la moyenne des courbes relatives à chaque enroulement des quatre premières machines soumises à essai pour fournir une base provisoire d'acceptation ou de refus des autres machines jusqu'à l'achèvement des essais des dix machines. La «courbe caractéristique de base d'échauffement et de refroidissement» pour chaque enroulement doit être alors la moyenne des dix essais.

Si les machines sont soumises à essai en opposition, des moyennes particulières doivent être établies pour les moteurs et les génératrices.

Lors des essais des machines suivantes, une mesure unique de résistance ou de température normalement relevée pendant la première minute du refroidissement est suffisante. L'instant auquel cette lecture est effectuée doit être enregistré pour permettre la comparaison du résultat obtenu avec la courbe de base correspondante et peut être prolongé au-delà de la minute, en conformité avec l'Article A.4.

9.1.4 Appréciation des résultats

Une machine est réputée satisfaire à l'essai de série de bon fonctionnement si les échauffements enregistrés à un instant donné à partir du début du refroidissement ne varient pas des valeurs de la courbe de base, telle que définie en 9.1.3, de plus de $\pm 8\%$ ou de $\pm 10\text{ K}$ (la limite prise en compte étant la plus grande de ces deux valeurs).

NOTE Si les échauffements de la courbe de base approchent sensiblement les limites données au Tableau 2, il est possible, et acceptable, pour les essais de série particuliers à chaque machine, de dépasser ces valeurs limites.

Si une machine dépasse l'échauffement de la courbe de base d'une valeur dépassant la tolérance admise, elle peut être soumise à un essai de type à son régime assigné garanti et elle doit être acceptée si elle satisfait à cet essai.

Pour une même commande, les variations de caractéristiques des matières à l'intérieur des limites autorisées peuvent provoquer une dérive notable dans la moyenne des échauffements. Si cette évolution est à l'origine d'échecs répétés lors des essais de série en dépit d'un résultat satisfaisant aux essais de type ultérieurs, une nouvelle courbe de base peut être établie, mais elle ne doit pas être plus élevée de plus de 5 % que la précédente.

9.2 Essais de détermination des caractéristiques et tolérances

9.2.1 Généralités

Les essais peuvent être effectués suivant l'une quelconque des méthodes possibles sur une machine chaude. Il n'est pas nécessaire de ramener les lectures à la température de référence, sauf si, en l'absence de cette correction, la machine devait être rejetée.

Ni les essais de rendement ni les essais de freinage ne sont exigés.

Les machines fonctionnant, en service, en courant ondulé doivent être soumises à essai en courant continu et les machines prévues pour fonctionner avec une alimentation polyphasée fournie par un convertisseur doivent être soumises à essai en courant alternatif sinusoïdal.

Les machines réversibles doivent être soumises à essai dans les deux sens de rotation.

9.2.2 Moteurs de traction à collecteur (voir Figure 1)

Les relevés de vitesse doivent être effectués aux points Car1 et Car2 pour les niveaux d'excitation maximale et minimale. Dans le cas de moteurs à excitation séparée, les courbes doivent être tracées pour une excitation constante et un relevé au point Car2 seulement est suffisant.

Les vitesses ne doivent pas s'écarter des valeurs correspondant à la caractéristique de base au-delà des tolérances de fabrication indiquées au Tableau 4.

9.2.3 Génératrices principales (voir Figure 2)

Dans le cas de génératrices régulées, les relevés doivent être effectués aux points suivants sur la courbe régulée à pleine puissance, les courants d'excitation séparée ayant les valeurs correspondantes établies au cours des essais de type:

- Car1: correspondant au courant maximal sur la partie régulée de la caractéristique de base;
- Car2: correspondant à la tension maximale de fonctionnement sur la partie régulée de la caractéristique de base.

L'intensité de courant maximale et la tension maximale ne doivent pas s'écarter des valeurs correspondantes de la courbe de base de plus de ± 5 %.

NOTE Si le courant maximal indiqué sur la caractéristique de base est sur la partie régulée de la caractéristique, la tolérance sur le courant ne s'applique pas car il suffit de démontrer que le courant d'excitation reste dans les limites déclarées lorsque le courant de charge est à sa valeur maximale.

Dans le cas d'une génératrice fonctionnant sur ses caractéristiques intrinsèques, les relevés doivent être effectués pour les trois points suivants de la courbe à puissance maximale:

- Car1: relevé de la tension correspondant à l'intensité de courant maximale;
- Car2: relevé au courant assigné à tension inférieure;
- Car3: relevé à vide.

Le courant maximal au point Car1 et les tensions aux points Car2 et Car3 ne doivent pas s'écarter des valeurs indiquées sur la caractéristique de base de plus de ± 5 %.

9.2.4 Essais particuliers aux alternateurs

Ces essais doivent consister en un essai à vide et un essai en court-circuit.

La tension à vide et le courant de court-circuit ne doivent pas s'écarter des valeurs établies lors de l'essai de type de plus de ± 5 %.

9.2.5 Moteurs auxiliaires

La vitesse des machines à collecteur doit être relevée au régime assigné garanti pour l'excitation maximale et elle ne doit pas s'écarter de la valeur de base de plus de ± 5 %.

Le glissement des machines asynchrones doit être relevé au régime assigné garanti et il ne doit pas s'écarter de la valeur de base de plus de ± 20 %.

9.2.6 Génératrices auxiliaires

Pour les génératrices à courant continu non régulées, on doit mesurer à la vitesse assignée la tension à vide et la tension au courant assigné. Ces tensions ne doivent pas s'écarter des valeurs de base de plus de ± 5 %.

Pour les génératrices à courant continu régulées, on doit mesurer les courants d'excitation nécessaires pour obtenir la tension assignée à vide et à la vitesse maximale d'une part, et à la charge maximale et à la vitesse minimale d'autre part. Ces courants d'excitation ne doivent pas s'écarter des valeurs de base de plus de ± 5 %.

Pour les alternateurs, la tension à vide et le courant de court-circuit à la vitesse assignée doivent être mesurées pour deux valeurs spécifiées du courant d'excitation. Sauf accord contraire, ces essais doivent être effectués pour un courant d'excitation égal à 50 % et à 100 % de sa valeur maximale. Les tensions et courants mesurés, pendant les essais de type, ne doivent pas s'écarter des valeurs établies de plus de ± 5 %.

Les tolérances spécifiées pour les machines équipées d'un régulateur peuvent être élargies sous réserve que la caractéristique de base de tension de sortie puisse être obtenue sans dépasser les capacités du régulateur et sous réserve que l'échauffement de l'enroulement d'excitation soit conforme aux exigences de l'essai de bon fonctionnement.

9.2.7 Groupes moteurs-générateurs auxiliaires et convertisseurs

Dans le cas de groupes non régulés, la tension de sortie et la vitesse de rotation du groupe doivent être relevées pour les tensions d'alimentation maximale et minimale du groupe, la génératrice fonctionnant à vide puis délivrant son courant de sortie assigné. Dans le cas d'un alternateur, le facteur de puissance spécifié doit être respecté. La tension de sortie et, le cas échéant, la fréquence ne doivent pas s'écarter des valeurs de base correspondantes de plus de ± 5 %.

Dans le cas de groupes régulés, un maximum de quatre relevés doit être effectué à des points choisis de telle sorte qu'il puisse être vérifié que tous les points de la caractéristique de base sont accessibles sans dépasser les capacités de l'équipement de régulation. Il est normalement suffisant d'effectuer ces mesures d'une part à la tension d'alimentation maximale et à vide et, d'autre part, à la tension d'alimentation minimale et à la charge maximale mais, dans certains cas, il peut être utile d'effectuer des mesures complémentaires. Les tolérances sur la tension et la fréquence sont fonction du régulateur et non de la machine. L'intensité absorbée aux points d'essai en charge ne doit pas s'écarter de la valeur de base correspondante de plus de ± 5 %.

9.3 Essais de commutation

9.3.1 Généralités

Les exigences générales applicables aux essais de commutation lors des essais de série sont celles indiquées en 8.3 pour les essais de type, sous réserve que les moteurs à courant ondulé puissent être soumis à essai en courant continu.

9.3.2 Moteurs de traction (voir Figure 1)

Les moteurs de traction doivent être soumis à essai aux régimes correspondant aux points Com1, Com2 et Com3, au niveau minimal d'excitation rencontré à ces points en service.

Les essais complémentaires prévus pour les moteurs connectés en permanence en série et les essais de freinage ne sont pas exigés.

9.3.3 Génératrices principales (voir Figure 2)

Les génératrices principales doivent être soumises à essai aux points Com1 et Com2.

9.3.4 Moteurs et génératrices auxiliaires et groupes moteurs-générateurs

Les moteurs doivent être soumis à essai à leur tension maximale et à un courant égal à 1,5 fois la valeur assignée garantie, ou au courant maximal pour l'application envisagée si celui-ci

lui est inférieur. La vitesse doit être la vitesse maximale qui peut être atteinte en service normal dans les conditions de l'essai.

Les génératrices (y compris celles faisant partie d'un groupe moteur-générateur) doivent être soumises à essai de la même manière mais à la tension de sortie nominale pour les conditions de l'essai.

Les moteurs des groupes moteurs-générateurs doivent être soumis à essai à leur tension minimale pour la puissance maximale que peut fournir la génératrice en service normal dans les conditions de l'essai.

9.4 Essais de survitesse

9.4.1 Généralités

Les essais de survitesse sont des essais de série pour toutes les machines à collecteur et à rotor bobiné et, sauf accord contraire, sont des essais de type pour les autres catégories de machines. Les machines doivent être soumises à essai pendant 2 min, à chaud, aux vitesses spécifiées en 9.4.2 à 9.4.5, à la suite de quoi elles ne doivent présenter aucune déformation permanente et doivent satisfaire aux essais diélectriques spécifiés en 9.5.

9.4.2 Moteurs de traction

Les moteurs de traction doivent être soumis à essai à 1,2 fois la vitesse maximale d'utilisation des moteurs définie en 3.7.1.

Lorsque deux ou plusieurs moteurs à excitation série sont connectés en permanence en série sans couplage mécanique, le facteur de survitesse doit être porté à 1,3. Lorsqu'un dispositif d'antipatinage automatique est prévu, le facteur peut demeurer à 1,2 si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur.

NOTE L'utilisation d'un équipement dont l'action est limitée à la détection du patinage et qui laisse au conducteur l'initiative des actions de correction n'est pas suffisante pour s'affranchir du facteur de survitesse augmenté.

9.4.3 Génératrices principales ou auxiliaires entraînées par moteur thermique

Les génératrices principales ou auxiliaires entraînées par moteur thermique doivent être soumises à essai à 1,2 fois la vitesse maximale d'utilisation, telle qu'elle est définie en 3.6.2.

9.4.4 Génératrices entraînées par l'essieu

Les génératrices entraînées par l'essieu doivent être soumises à essai à 1,2 fois la vitesse maximale d'utilisation définie en 3.6.3.

9.4.5 Groupes moteurs-générateurs principaux ou auxiliaires, convertisseurs auxiliaires et moteurs auxiliaires

Les groupes moteurs-générateurs principaux ou auxiliaires, les convertisseurs auxiliaires et les moteurs auxiliaires doivent être soumis à essai à 1,2 fois la vitesse maximale d'utilisation définie en 3.6.4.

9.5 Essais diélectriques

L'essai doit normalement être effectué en utilisant une tension alternative dont la forme d'onde est proche d'une sinusoïde et la fréquence comprise entre 25 Hz et 100 Hz, mais une tension continue d'essai peut être employée si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur avant que la commande ne soit passée.

La tension d'essai doit être appliquée entre les enroulements de chaque circuit et la masse, les enroulements de tous les autres circuits étant connectés à la masse. L'essai ne doit être

effectué que sur des machines neuves dont toutes les parties sont en place comme pour un fonctionnement normal.

L'essai doit être effectué immédiatement après les essais de série spécifiés aux articles précédents.

La tension d'essai doit être appliquée progressivement, en commençant à une valeur ne dépassant pas le tiers de la valeur finale indiquée au Tableau 5. Une fois atteinte, cette valeur finale doit être maintenue pendant 60 s.

Tableau 5 – Tensions d'essais diélectriques

Groupe	Enroulement	Tension d'essai
1	a) Enroulements directement connectés à la ligne de contact	Essai en courant alternatif: $2,25 U_1 + 2\,000\text{ V}$
	b) Enroulements connectés à la ligne de contact par l'intermédiaire d'un transformateur redresseur ou d'un hacheur sans circuit intermédiaire	Essai en courant continu: $3,825 U_1 + 3\,400\text{ V}$
2	Enroulements non connectés à la ligne de contact (sauf groupe 3)	Essai en courant alternatif: $2 U_2 + 1\,000\text{ V}$ avec un minimum de $1\,500\text{ V}$ Essai en courant continu: $3,4 U_2 + 1\,700\text{ V}$ avec un minimum de $2\,550\text{ V}$
3	Enroulements d'excitation des génératrices à courant alternatif	Essai en courant alternatif: $10 U_3$ avec un minimum de $1\,500\text{ V}$ et un maximum de $3\,500\text{ V}$ Essai en courant continu: $17 U_3$ avec un minimum de $2\,550\text{ V}$ et un maximum de $5\,950\text{ V}$
U_1 est la plus haute tension par rapport à la terre qui peut être appliquée à l'enroulement quand la ligne de contact est à sa tension nominale. U_2 est la plus haute tension par rapport à la terre qui peut être appliquée à l'enroulement en service normal. U_3 est la plus haute tension d'excitation. NOTE 1 Les moteurs alimentés par transformateur-redresseur à partir d'un réseau alternatif ou par hacheur à partir d'un réseau continu sont soumis à essai selon les conditions du groupe 1. NOTE 2 Les tensions d'essai sont indiquées en valeur efficace, tout comme les tensions U_1, U_2, U_3 lorsqu'elles sont alternatives. Lorsqu'elles sont continues, y compris les tensions de sortie des systèmes de réglage par impulsion, U_1, U_2 et U_3 sont les valeurs moyennes arithmétiques des ondes de tension considérées. NOTE 3 Si la tension appliquée à l'enroulement n'est pas normalement référencée par rapport à la terre, il convient que U_1, U_2 et U_3 soient alors considérées comme les tensions les plus élevées qui peuvent apparaître sur l'enroulement si un point quelconque de celui-ci venait à être relié à la terre. NOTE 4 Pour déterminer U_1 et U_2, il convient de prendre en considération les tensions qui peuvent apparaître à l'intérieur du circuit du fait du système de contrôle et les caractéristiques des dispositifs de protection.		

9.6 Essais de vibrations (non compensées – balourd)

Chaque machine doit être vérifiée pour déceler des vibrations associées à une machine non compensée. La démonstration que la machine présente, au banc d'essai, un fonctionnement stable dans tout le domaine de vitesse doit être un essai normalement suffisant, et il convient que le niveau d'équilibrage normal soit suffisant pour que ce résultat soit obtenu.

Dans les applications où la vibration de la machine est considérée comme critique, l'essai explicité en 8.8 peut être réalisé sur chaque machine, après accord entre exploitant et constructeur.

9.7 Mesure de la déformation radiale du collecteur (faux-rond)

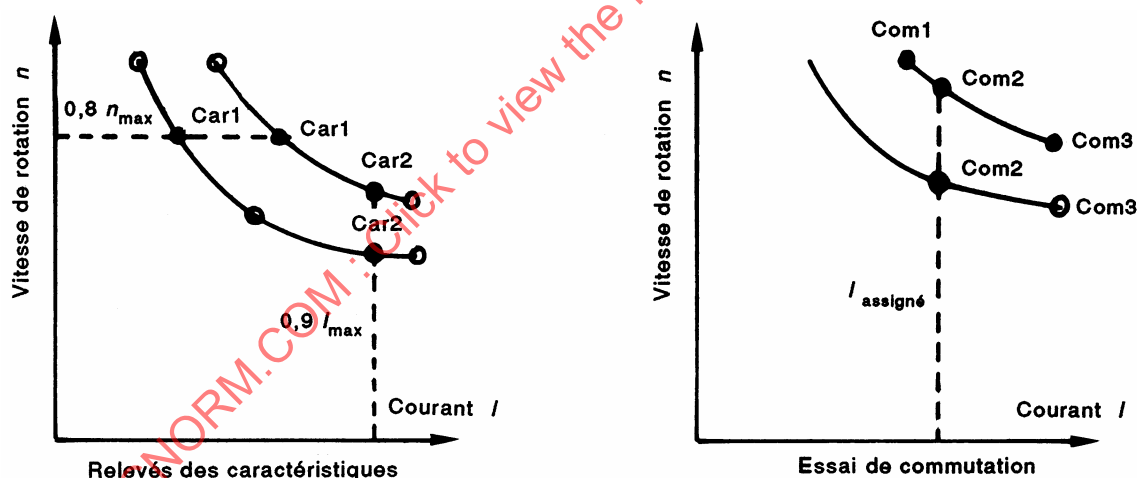
Si cela est spécifié par l'exploitant, une mesure du faux-rond radial du collecteur doit être effectuée immédiatement après la fin des essais de série. Lorsque c'est possible, elle doit être effectuée en utilisant un instrument de mesure enregistreur.

Le faux-rond radial est la différence entre la hauteur de lame maximale et minimale résultant de la mesure de chaque hauteur de lame du collecteur. La valeur ne doit pas dépasser les valeurs indiquées au Tableau 6 et il ne doit pas apparaître de discontinuités brusques.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de spécifier des limites inférieures à celles indiquées au Tableau 6 et dans d'autres (tels que machines auxiliaires à faible vitesse), une commutation acceptable peut être assurée avec des faux-ronds supérieurs. Dans ces conditions, des limites modifiées doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'exploitant.

Tableau 6 – Limites de la déformation radiale du collecteur (faux-rond)

Diamètre du collecteur	Faux-rond radial maximal mm
Jusqu'à 400 mm	0,03
De 400 mm à 800 mm	0,04
Plus de 800 mm et pour toutes les machines à un seul palier ou montées en porte-à-faux	0,06



IEC 1556/99

Figure 1a) – Moteur série alimenté directement par une ligne de contact

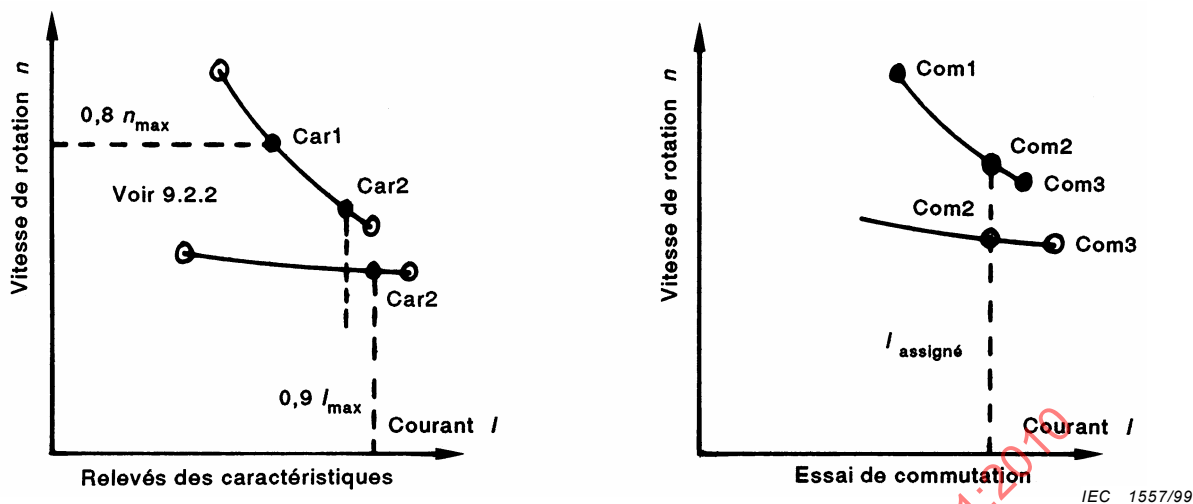


Figure 1b) – Moteur à excitation séparée ou moteur compound alimenté directement par une ligne de contact

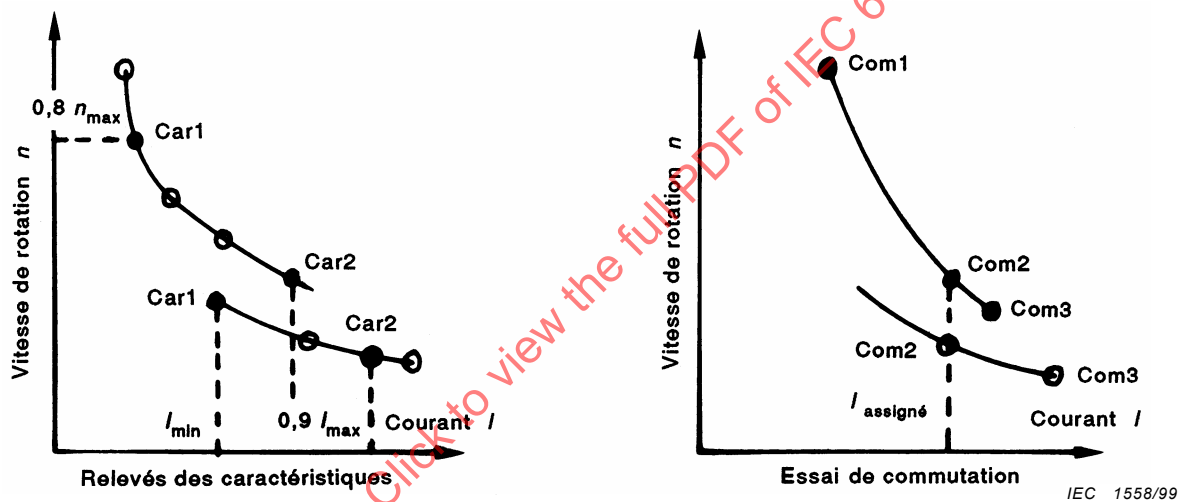


Figure 1c) – Moteur de véhicule thermoélectrique

LÉGENDE
 o Point d'essai de type
 • Point d'essai de type et de série

Figure 1 – Définition des régimes d'essai pour moteurs de traction à collecteur

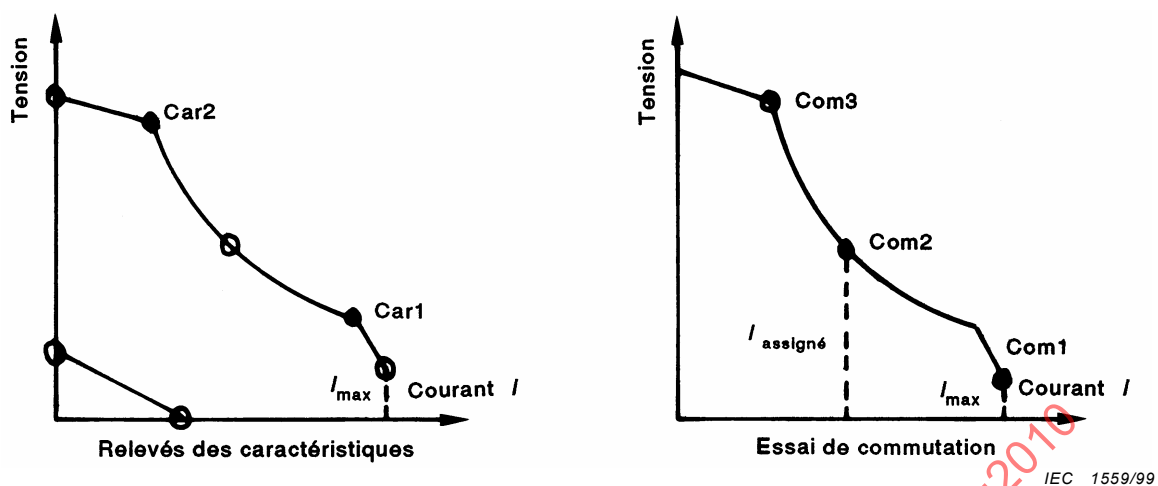


Figure 2a) – Génératrice régulée

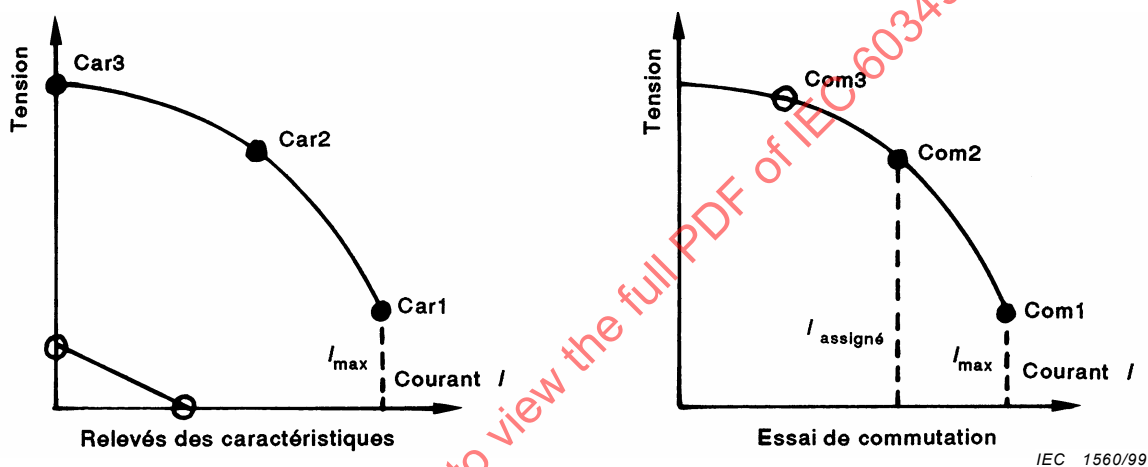


Figure 2b) – Génératrice fonctionnant sur ses caractéristiques intrinsèques

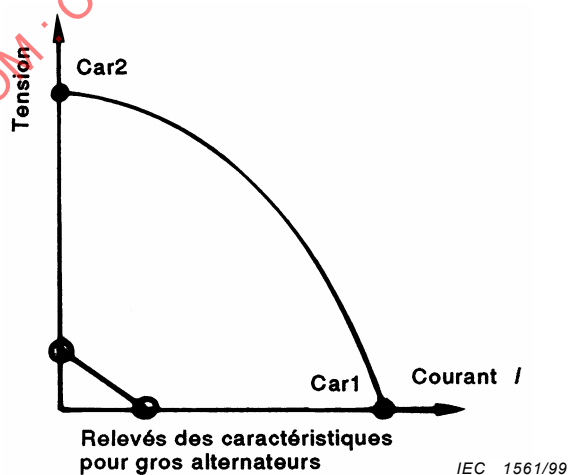


Figure 2c) – Relevés des caractéristiques pour gros alternateurs

LÉGENDE

o Point d'essai de type

• Point d'essai de type et de série

Figure 2 – Définition des régimes d'essai pour génératrices principales

Annexe A (normative)

Mesure de la température

A.1 Température des parties de la machine

Deux méthodes de détermination de la température des parties de la machine doivent être adoptées:

- a) méthode par variation de résistance pour les enroulements isolés;
- b) méthode par thermomètre électrique pour les collecteurs, les bagues et les enroulements non isolés en court-circuit.

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 la durée de 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.

Méthode par variation de résistance

Dans cette méthode, l'échauffement des enroulements est déterminé par leur augmentation de résistance.

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

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

où

- t_1 est la température initiale de l'enroulement, en degrés Celsius;
- R_1 est la résistance initiale 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 considéré.

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 l'air de refroidissement

Pour les machines complètement fermées, sans ventilateur extérieur, la température de l'air de refroidissement doit être mesurée par au moins quatre thermomètres répartis autour de la machine à une distance de celle-ci comprise entre 1 m et 2 m.

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

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 à la variation de température de l'air de refroidissement, toutes les précautions possibles doivent être prises pour limiter cette variation au minimum.

La température de l'air de refroidissement à la fin de l'essai doit être la moyenne des mesures relevées approximativement toutes les 15 min pendant la dernière heure d'un essai au 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 ces mesures 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 cette température ne doit pas s'écarter de la température ambiante, à cet instant, de plus de 4 K.

A.3.2 Résistance à chaud

Dans le cas où il est possible de mesurer la chute de tension dans un enroulement parcouru par un courant continu, lorsque la machine est en fonctionnement, la résistance doit être calculée à partir de cette mesure, prise à intervalles réguliers pendant l'essai, l'enroulement étant parcouru par le courant d'essai.

Dans les autres cas, les mesures de résistance doivent être effectuées aussitôt 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 toute autre méthode applicable, mais pour un enroulement donné, la même méthode doit être employée pour toutes les mesures, 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 exigence). Pour la mesure de la résistance d'un induit, l'alimentation en courant doit s'effectuer par le collecteur et les balais, et la mesure de tension doit être effectuée entre deux lames préalablement repérées, ces lames se situant entre deux lignes de balais et étant distantes d'un pas au moins égal à la moitié du nombre de lames par pôle.

Pour une mesure par la méthode du pont, les sondes de tension doivent être placées de la même façon que pour la méthode volt-ampèremétrique. Dans le cas d'enroulements équipés de connexions équipotentielles, les pointes d'amenée de courant doivent être appliquées au droit des balais les plus rapprochés de la position des sondes de tension.

Pour les essais de type, les mêmes lames repérées doivent être utilisées pour les mesures à froid et à chaud, sauf s'il est démontré que les écarts relatifs entre les résistances mesurées entre diverses paires de lames également espacées et réparties sur le collecteur restent négligeables.

A.4 Arrêt de la machine et instant « origine de refroidissement »

A la fin des essais, les machines doivent être arrêtées dans un délai aussi bref que possible.

On utilisera de préférence une méthode de freinage sans courant pour la machine en essai. Dans ce cas, l'instant « origine de refroidissement » doit correspondre à l'instant d'ouverture des circuits principaux immédiatement avant le freinage, les systèmes de ventilation séparés étant arrêtés à cet instant.

Si cette méthode n'est pas utilisable, des méthodes dans lesquelles la machine en essai est parcourue par un courant pendant la période de freinage peuvent être utilisées sous réserve que la machine soit rapidement stoppée et que le courant de charge reste sensiblement constant pendant la durée du freinage. L'instant « origine de refroidissement » doit être alors choisi à l'instant où le courant de charge est tombé à 80 % de la valeur d'essai, instant auquel la ventilation doit être arrêtée.

Pour les grosses machines qui ne peuvent pas être arrêtées assez rapidement pour permettre d'effectuer les premières mesures moins de 45 s après l'instant « origine de refroidissement », le choix de la méthode de freinage et l'extension du délai de la première mesure à une valeur inférieure à 2 min doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'exploitant. Il peut aussi être précisé si ce délai limite doit s'appliquer dans le cas où des balais spéciaux sont mis en place pour la mesure de la courbe de refroidissement.

A.5 Instant des mesures de résistance à chaud et extrapolation des courbes de refroidissement et d'échauffement

- a) Pour les résistances mesurables pendant la marche, les dernières mesures doivent être faites juste avant la fin des essais d'échauffement. Dans le cas d'un essai de courte durée, les résistances doivent être mesurées moins de 10 s avant le début du freinage.
- b) Pour chaque enroulement dont la résistance ne peut être mesurée pendant la marche, les mesures ne doivent pas commencer plus de 45 s après l'instant « origine de refroidissement » (voir 8.1.5 pour les exceptions) et doivent être poursuivies pendant au moins 5 min.

Les intervalles entre mesures successives ne doivent pas excéder 20 s pendant les trois premières minutes et 30 s ensuite.

Les échauffements calculés à partir de ces relevés doivent être portés en fonction du temps sur un graphique à échelle logarithmique pour la température et linéaire pour le temps, la courbe en résultant étant extrapolée jusqu'à l'instant « origine de refroidissement » pour obtenir l'échauffement en fin d'essai.

Annexe B (informative)

Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement

B.1 Généralités

La présente Annexe décrit certaines méthodes de détermination des pertes et du rendement des machines couvertes par la présente norme. Ce n'est pas un traité complet sur les essais des machines: il convient de considérer cette Annexe comme une extension de la CEI 60034-2-1 afin de satisfaire aux exigences spéciales des machines de traction.

Il convient d'appliquer les conditions générales suivantes, quelle que soit la méthode d'essai adoptée:

- a) la charge reste constante pendant au moins 10 s avant que soit effectuée la lecture des appareils de mesure;
- b) les résistances des enroulements sont mesurées immédiatement avant et après une série de mesures (par exemple, les relevés à plein champ dans un sens de rotation constituent une série de mesures) cela afin de permettre de ramener le rendement à la température de référence de 150 °C (voir 5.2). Pour cette correction, la résistance des enroulements pendant une série de mesures doit être prise égale à la moyenne arithmétique des deux mesures ci-dessus;
- c) la chute de tension totale au contact des balais (U_c) est prise égale à 3 V si les balais ne comportent pas de connexions souples jusqu'aux porte-balais et à 2 V s'ils en comportent;
- d) pour les machines réversibles, le rendement à un courant donné est pris égal à la moyenne arithmétique des rendements dans les deux sens de rotation;
- e) lorsque la caractéristique de rendement d'un moteur de traction tient compte des pertes de la transmission, il convient de préférence de vérifier la valeur de ces dernières par un essai. En cas d'impossibilité, on prend les valeurs conventionnelles données dans la présente Annexe, à moins que d'autres valeurs ne soient données sur la caractéristique de rendement.

B.2 Symboles

Les symboles suivants sont utilisés tout au long de cette Annexe:

U_m	=	tension aux bornes du moteur
U_g	=	tension aux bornes de la génératrice
U_b	=	tension aux bornes du survolteur
U_l	=	tension d'alimentation
U_f	=	tension des enroulements d'excitation série du moteur
U_c	=	chute de tension totale au contact des balais positifs et négatifs de la machine
I_m	=	courant dans le moteur
I_g	=	courant dans la génératrice
I_b	=	courant dans le survolteur
I_l	=	courant de ligne
i_s	=	courant d'excitation séparée
i_m	=	courant d'excitation shunt du moteur
i_g	=	courant d'excitation shunt de la génératrice