

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –
Part 23: Repair, overhaul and reclamation**

**Machines électriques tournantes –
Partie 23: Réparation, révision et remise en état**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60034-23

Edition 1.0 2019-01

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –
Part 23: Repair, overhaul and reclamation**

**Machines électriques tournantes –
Partie 23: Réparation, révision et remise en état**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.160.01

ISBN 978-2-8322-6264-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 General principles	10
4.1 Use of referenced documents	10
4.2 Hazardous areas.....	10
4.3 Special applications	11
4.4 Efficiency.....	11
4.5 System efficiencies	11
4.6 Environment and End of life recycling	11
4.7 Circular economy	12
5 General requirements for repair	12
5.1 General.....	12
5.2 Service facility	13
5.3 Scope of work	13
5.4 Standards	14
5.5 Quality program	14
5.6 User supplied information	15
5.6.1 User transfer document	15
5.6.2 Operating environment	15
5.6.3 Converter/inverter operation	15
5.6.4 Health and safety.....	15
5.7 Documentation.....	15
5.7.1 Records.....	15
5.7.2 Labels and rating plates.....	16
6 Assembled machine: inspection, tests and evaluation.....	16
6.1 Visual inspection.....	16
6.2 Tests before dismantling	17
6.2.1 Safety.....	17
6.2.2 Application.....	17
6.3 Stator winding or rotor winding tests	17
6.3.1 Winding resistance test.....	17
6.3.2 Phase balance test	17
6.3.3 Insulation resistance test	17
6.3.4 Polarization index test	18
6.3.5 No load test.....	19
6.4 Shaft and bearings.....	19
6.4.1 Shaft checks.....	19
6.4.2 Bearing checks	19
6.4.3 Bearing insulation resistance	19
6.5 Rotor cage integrity.....	20
6.5.1 General	20
6.5.2 Current signature analysis (harmonic analysis).....	20
6.5.3 Single-phase test method	20
6.5.4 Pole drop test – Salient pole rotor (motor or generator)	20

7	Dismantled machine: inspection, tests, and evaluation	20
7.1	General.....	20
7.2	Cleaning	20
7.3	Visual inspection.....	21
7.4	Air gap.....	21
7.5	Ventilation.....	21
7.6	Stator.....	21
7.7	Rotor	22
7.7.1	General	22
7.7.2	Rotor removal: vertical machines.....	22
7.7.3	Cage rotor	22
7.7.4	Cylindrical wound rotor windings.....	23
7.7.5	Permanent magnet (PM) machines: rotor removal	23
7.7.6	Salient pole rotor	23
7.7.7	Cylindrical solid rotors	23
7.8	Slip rings	24
7.9	Brushes and brush-holders	24
7.10	Rolling element bearings.....	24
7.11	Sleeve bearings	25
7.12	Seals and labyrinth seals	25
8	Repair work	25
8.1	Winding inspection.....	25
8.2	Core inspection.....	26
8.3	Rewinding	26
8.3.1	General	26
8.3.2	Random wound coils.....	27
8.3.3	Form-wound coils	27
8.3.4	Rewound stator tests	28
8.3.5	Winding resistance test.....	28
8.3.6	Surge comparison (or phase balance) test.....	28
8.3.7	Withstand voltage test	28
8.3.8	Thermal protection.....	30
8.3.9	Conductors and connections.....	30
8.3.10	Insulation system.....	30
8.3.11	Impregnation	30
8.3.12	Wound rotor banding	31
8.4	Components	31
8.4.1	General	31
8.4.2	Housing and end brackets	31
8.4.3	Fans and fan cowls.....	32
8.5	Rotor	32
8.5.1	General	32
8.5.2	Air gap.....	32
8.5.3	Cage rotor	32
8.5.4	Salient pole rotor	33
8.5.5	Slip-rings	33
8.5.6	Capacitors	33
8.5.7	Switches and starting components.....	33
8.5.8	Excitation components.....	33

8.6	Shafts	33
8.7	Bearings	34
8.8	Lubrication	34
8.8.1	Grease	34
8.8.2	Oil	35
8.9	Space heaters.....	35
8.10	Temperature sensors	35
8.11	Ingress and corrosion protection	35
8.12	Terminal boxes and connections	35
9	Final tests.....	35
9.1	Test equipment.....	35
9.2	Insulation resistance	36
9.3	Winding resistance.....	36
9.4	No load test	36
9.5	Magnetic centre marking (by agreement)	37
9.6	Locked rotor test (where applicable)	37
9.7	Full load run for motors	37
9.8	Zero power factor full current heat run (by agreement).....	37
9.9	Electromagnetic compatibility (by agreement).....	37
9.10	Auxiliaries	37
9.11	Salient pole DC or AC drop test	37
10	Additional requirements for DC machines	37
10.1	General.....	37
10.2	Assembled DC machine: inspection, tests and evaluation	37
10.2.1	General	37
10.2.2	No load test, or light load run.....	38
10.2.3	Bar to bar test.....	38
10.2.4	Surge test.....	38
10.3	Dismantled condition: inspection, tests and evaluation.....	38
10.3.1	Field winding	38
10.3.2	Inter-pole and compensation winding.....	38
10.3.3	Armature winding.....	38
10.3.4	Commutator.....	39
10.4	Repair work	39
10.4.1	Commutator dimensions	39
10.4.2	Brush-holders	39
10.4.3	Brushes	40
10.4.4	Brush neutral.....	40
10.4.5	Field, inter-pole, and compensation windings.....	41
10.4.6	Air gap.....	41
10.4.7	Rotor run-outs	41
10.4.8	Rotor balance	41
10.5	DC machines final tests	42
10.5.1	Brush holders	42
10.5.2	No load test or light load test	42
11	Additional requirements for high voltage AC machines (by agreement).....	42
11.1	Assembled HV machine, inspection and tests	42
11.1.1	General	42
11.1.2	The tan-delta (tip-up test in North America)	42

11.1.3	Partial discharge test	42
11.2	Dismantled HV machine , inspection and tests	42
11.2.1	Dielectric dissipation factor test	42
11.2.2	Dielectric dissipation factor tests of stator winding coils and bars	42
11.2.3	Stator slot wedge deterioration	42
11.2.4	Stator winding slot and overhangs discharge suppression	42
11.3	High voltage machines: final tests	43
11.3.1	High voltage withstand test: for HV machines	43
11.3.2	Withstand voltage tests, for overhauls and partial rewinds (by agreement)	43
11.3.3	Over-speed test (by agreement)	43
11.3.4	Short circuit run (by agreement)	43
11.3.5	Remnant voltage (by agreement)	43
11.3.6	Cooling circuit leakage tests (by agreement)	43
12	Additional tests for high voltage generators	44
12.1	Stator winding crevice corrosion	44
12.2	Solid cylindrical rotor	44
12.3	Cooling circuits (hydrogen/water)	44
13	Customer reports and handover	44
13.1	Exterior finish	44
13.2	Transport and packaging	44
13.3	Report to the user	44
	Annex A (informative) Flow chart for repair, overhaul and reclamation	45
	Annex B (informative) Standard extracts and tolerance tables	46
	Bibliography	49
	Figure 1 – Electrical machine components	13
	Table 1 – Recommended minimum insulation resistance values at a base temperature of 40 °C reference IEC 60034-27-4	18
	Table 2 – Guide to application of DC voltages for the insulation resistance and PI test	19
	Table 3 – Withstand voltage tests as per IEC 60034-1	28
	Table 4 – Minimum schedule of routine tests as per IEC 60034-1	36
	Table 5 – Brush to brush holder clearance (Extract from Table 1 of IEC 60136:1986)	40
	Table B.1 – Shaft extensions and couplings reference IEC 60072-1	46
	Table B.2 – Dimensions for the width of keyway to take keys to a tap fit (IEC 60072-1:1991, C.1.5)	46
	Table B.3 – Table of tolerances for shaft extension run-out	47
	Table B.4 – Table for mounting spigot diameter tolerances (IEC 60072-1:1991, C.1.7)	48
	Table B.5 – Table for concentricity of spigot diameter and perpendicularity of mounting face to shaft extension (IEC 60072-1:1991, C.7.1)	48

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ROTATING ELECTRICAL MACHINES –
Part 23: Repair, overhaul and reclamation****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 60034-23 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This first edition cancels and replaces IEC TS 60034-23 published in 2003. This edition constitutes a technical revision.

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

- the title of the standard has been changed to *Rotating electrical machines – Part 23: Repair, overhaul and reclamation*;
- Clause 1 Scope
 - Hydrogen cooled turbine generators added to special applications,
 - maintaining or improving the rated energy efficiency added
 - ensuring environmental considerations are taken into account added;

- Clause 4 General Principles added to cover: hazardous areas, traction motors, machine efficiency, environment, end of life recycling. and circular economy considerations;
- Clause 5 General: Scope of work, health and safety, standards, quality, information required and documentation now covered;
- Original Annexes B and C incorporated into the standard;
- Clause 9 Final tests updated;
- Clause 10 Additional requirements for the repair and testing of DC machines added;
- Clause 11 Additional requirements for the repair and testing of High Voltage AC machines added;
- Clause 12 Customer reports and handover added;
- New Annex B standard tolerances added.

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

FDIS	Report on voting
2/1923/FDIS	2/1924/RVD

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

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

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

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

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

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 23: Repair, overhaul and reclamation

1 Scope

This part of IEC 60034 covers the procedures necessary to ensure the satisfactory repair, overhaul, and reclamation of all types and sizes of rotating electrical machines covered by the IEC 60034 series. The standard creates a generic industry procedure covering common aspects of a complete repair. The scope of work depends on the machine type, rating, condition, and the importance of plant reliability and safety. It includes

- determining cause of failure, where necessary;
- determining the extent of repair, as applicable;
- defining revised performance, operating and ambient conditions, if required;
- reviewing the original design, and upgrading the specification of the design, if required;
- proving the quality and performance of the repaired machine, maintaining or improving the rated energy efficiency;
- ensuring environmental considerations are taken into account.

This document does not supersede the requirements prescribed in IEC 60079-19 or elsewhere concerning the repair and overhaul for machines used in explosive atmospheres.

Machines for special applications such as hermetic, submersible, nuclear, hydrogen cooled machines, military, aviation and traction motors might have additional requirements, which are the subject of agreement between the service facility and user.

This document is not intended to take the place of the original machine manufacturer's instructions and recommendations.

Re-designs and performance changes requiring machine designer input are beyond the scope of this document.

2 Normative references

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

IEC 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*

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

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

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

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

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

IEC 60050-411:1996, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 411: Rotating machines*

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

IEC 60072-2, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 2: Frame numbers 355 to 1000 and flange numbers 1180 to 2360*

IEC 60079-19, *Explosive atmospheres – Part 19: Equipment repair, overhaul, and reclamation*

IEC 60136:1986, *Dimensions of brushes and brush-holders for electrical machinery*

ISO 21940-11, *Mechanical vibration – Rotor balancing – Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60034 (all parts) and the following apply.

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

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

3.1

customer

person or company, who places the order for a repair with the service facility and may or may not be the owner or user of the machine

3.2

dismantling

disassembly of a machine into component parts or sub-assemblies

3.3

maintenance

routine actions taken to preserve the installed equipment in a fully serviceable condition

3.4

manufacturer

party responsible for the manufacture of the machine as originally supplied

3.5

overhaul

action to restore to fully serviceable condition equipment which has been in use or in storage for a period of time but which is not faulty

3.6

reclamation

means of repair involving the removal or addition of material to reclaim component parts which have sustained damage, in order to restore such parts to a serviceable condition in accordance with the original standards and specifications

3.7

refurbisher

party responsible for the refurbishing work, its sub-contractors and suppliers

3.8

refurbishment

total process of preparing a machine, no longer adequate for duty with normal maintenance, to make it suitable for further service

3.9

relevant standard

standard to which the equipment was originally designed

3.10

repair

action to restore faulty equipment to its fully serviceable condition complying with the relevant standard

3.11

repairer

manufacturer, user, or a third party (repair agency) who carries out the repair of the equipment

3.12

rewinding

part of the refurbishment related to removing and replacing some or all of the machine winding their insulation, connection and support systems

3.13

service facility

manufacturer, user, or a third party (repair agency) providing a service that consists of the repair, overhaul, or reclamation of equipment

3.14

serviceable condition

condition which permits parts or equipment to be used without prejudice to performance

3.15

user

owner, or party arranging or requiring the repair

4 General principles

4.1 Use of referenced documents

Older machines being repaired were designed to conform to earlier versions of the relevant standards applicable when they were manufactured. It is possible that they would not be able to meet the requirements of the latest standards. If this is the case the earlier standard should be referred to for the specifications that the machine was manufactured to.

4.2 Hazardous areas

This document can be used in conjunction with IEC 60079-19, but does not supersede the requirements prescribed in the latest version of IEC 60079-19. Special restrictions apply including

- the scope of repair allowed by machine certification,
- individual personnel 'Ex' competency,
- the specific design limitations of different protection concepts.

4.3 Special applications

For rail and road traction motors, IEC 60349-1 is used by the manufacturers of these machines. The service centre should also use the information in IEC 60349-1 to ensure the quality of their repair, in conjunction with the IEC 60034-23 repair standard.

4.4 Efficiency

Where machines have been designed to meet Minimum Energy Performance Standards (MEPS), as in the IEC 60034-30-1 efficiency classes and IEC TS 60034-30-2, they might be subject to legal requirements to maintain efficiency levels. The designs might have been verified by third party testing with declared minimum efficiencies shown on the nameplate. It is important to follow when repairing or rewinding all machines to ensure no degradation of performance.

Current energy efficient motors have to be within a set tolerance of their rated efficiency label. Any repair workshop, manufacturer's or independent service centre, with a good quality control system, using modern materials and using this standard, can maintain or improve the efficiency of a machine within the original efficiency tolerances that the machine was designed to meet.

4.5 System efficiencies

If a motor has already been updated to an energy efficient machine, then a repair is often the most environmentally friendly solution to extend the life of the machine, and maintain its rated efficiency. During the course of a machine evaluation the decision to repair or replace should be considered.

This is often the best time to calculate whether replacement with a new, more efficient machine would be cost effective. This varies greatly with the number of hours the machine is used and requires careful specialist consideration. As an example, unregulated pumps, fans, and compressors might use more energy, depending on how much they are used, due to less slip and the higher speeds of energy efficient motors. The application might be suitable for use with a converter to overcome this problem, or the impeller could be re-profiled. Many machines are also special due to limitations of size, fit, duty, speed, torque, etc. Consideration should also be given to the possible lower downtime and lower carbon footprint of a repair and re-use.

Electric motors are generally very efficient and reliable converters of energy. The majority of wasted energy and energy losses are often caused in other areas of the driven system such as pumps, piping design, gearboxes, fans and fan ducting, compressors, wiring, transmission etc. All of these items should be looked at as a complete system when looking for energy savings.

4.6 Environment and End of life recycling

Environmentally there are many advantages in a service centre handling a machine at, or close to, the end of its life and environmentally disposing of replaced machines to remove them from the system. Where hazardous substances (such as asbestos, PCB, lead, etc.) are identified, suitable measures shall be adopted using best practice to meet legislative requirements on their removal and disposal.

- a) Root cause failure analysis of a failed machine can identify problems of overloading, contamination, misalignment, faulty power supply, incorrect application, design or contractual limitations, etc., and significantly increase the service life of the repaired machine, or any new replacement.
- b) The feasibility of whether a machine should be repaired or replaced can be calculated by a service facility taking into account its actual usage, power usage, cost of repair, cost of replacement, and payback period.
- c) If the equipment is not repaired and it is at the end of its life, the equipment can be scrapped in the most cost efficient way and to prevent it entering the second hand market. The old equipment should be split into its component materials for recycling, for example:
 - clean or burnt copper wire;

- copper wire mixed with insulation and varnish;
- cast aluminium housings;
- steel solids: bearings, shafts;
- light cast iron: housings etc.;
- remnants of mixed scrap.

Any replaced components during a repair, such as copper wire and bearings replaced, should also be similarly recycled. Apart from the varnish and insulation, the repair industry is able to sort and recycle around 98 % of an old machine, and any components used in a repair.

When recycled into the separate elements, these materials require minimal energy input and transportation before reuse. They are also correspondingly “greener” and more valuable.

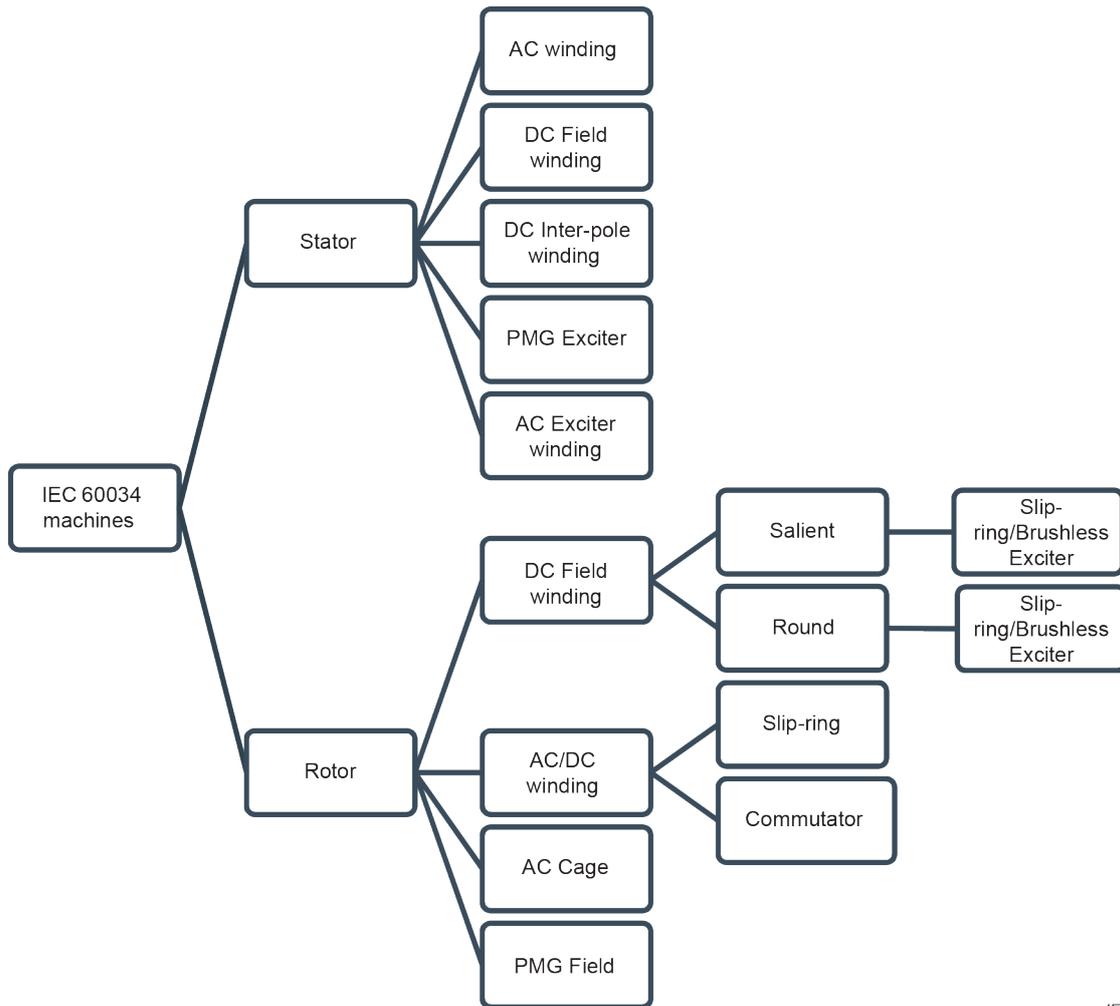
4.7 Circular economy

The repair process complies with all aspects of the circular economy, doubling or trebling the active life of rotating electrical machines and the use of materials in them. The rotating electrical equipment market has undergone a process of upgrading to more energy efficient machines to save on power usage, with the focus of standardisation on IE3 machines, or equivalent. The repair/refurbishment of energy efficient machines ensures the most efficient use of the world's dwindling resources. When repairing/maintaining a typical 110 kW machine with new bearings, the effective life is doubled and 99 % of the original machine is maintained. The old bearings, making up 1 % of the machine, are recycled as high quality “green” steel scrap. If the machine is rewound 90,5 % of the machine is reused during refurbishment. Weight for weight of the materials used during a rewind are returned as high quality green copper and steel scrap. The only items not reused or recycled during repair are the varnish, insulation, paint and grease, representing just 0,9 % by weight of the materials present in a typical 110 kW machine.

5 General requirements for repair

5.1 General

This clause covers those aspects of repair, overhaul, and refurbishment, which are common to all IEC 60034 series electrical machines. Subsequent subclauses deal with specific requirements for various machine types. In accordance with the needs of the user and local facilities, machines can be repaired on site, at the service facility works, or elsewhere. The key machine components are the stator and the rotor as shown below, see Figure 1.



IEC

Figure 1 – Electrical machine components

5.2 Service facility

The user should ascertain that the service facility can demonstrate the ability to undertake the repair being proposed. This includes adequate repair and overhaul facilities, the appropriate equipment necessary and trained operatives.

The service facility shall be competent in the techniques and technologies required for the repair of the original machine, and shall be able to predict the influence of the repair on the machine.

Clean conditions are extremely important during the storage and assembly of machines, and should be appropriate to the type of machine being repaired. These shall be provided and maintained by the responsible parties.

Precautions shall be taken to ensure protection from contamination and foreign material entry during the storage of components after strip down and during repair. Winding and final assembly should be undertaken in a clean and dry area protected from any ingress of foreign matter arising from disassembly, cleaning, machining, open doors, or poor housekeeping.

5.3 Scope of work

The service facility shall conduct an initial assessment of the state of the equipment and agree with the user the scope of work to be done.

The intent of the initial tests and visual inspections shall be to determine and record the condition of the received equipment, to document pre-work parameters, and to propose a scheme of work.

It is important to establish the 'root cause' if any failure has occurred. The problem might not have originated in the machine.

Machines shall be repaired to produce as good as, or better than, their original performance parameters, which shall be ascertained to the extent required by the user.

If any work could result in a permanent degradation of efficiency or other relevant performance parameters, the user's approval is required before proceeding.

5.4 Standards

The service facility should use the following key standards to check the dimensions and tolerances, or equivalent standards used in the manufacture of a machine. Standards are used by manufacturers in the design of their machines, and good repair practice should be to use the relevant standards wherever possible to check the quality of their repair:

Mechanical standards:

Dimensions and output (frames 56 to 400)	IEC 60072-1
Dimensions and output (frames 355 to 1 000)	IEC 60072-2
Enclosures (IP code)	IEC 60034-5
Methods of cooling (IC Code)	IEC 60034-6
Mounting arrangements (IM Code)	IEC 60034-7
Terminal markings	IEC 60034-8
Noise	IEC 60034-9
Vibration	IEC 60034 -14

Electrical testing:

Rating and performance	IEC 60034-1
Losses and efficiency	IEC 60034-2-1
Losses and efficiency of large machines	IEC 60034-2-2
Insulation resistance and polarisation index	IEC 60034-27-4

Where machines are manufactured and tested to other standards, for example NEMA, reference should be made to the relevant NEMA standard.

These attributes shall be maintained up to the original level after repair.

Built-in thermal protection and embedded temperature detectors, in accordance with IEC 60034-11, shall be of the same type and in the same locations as the originals unless otherwise agreed.

5.5 Quality program

A quality programme, which has been agreed with the user, shall be followed before starting the repair work to incorporate appropriate inspection, diagnostic, and test procedures. The programme shall ensure that the repair addresses the root cause of any failure, if this lies in the machine itself, and proves the machine is capable of the required performance after rectification. The user and service facility shall discuss problems originating from outside the machine which might have led to the failure.

Repair may be assisted by relevant items from the performance and test procedures, condition monitoring measurements, and criteria itemized below.

Applicability of these tests and diagnostic tools depends on the class of machine or component involved. User requirements should be agreed with the service facility where necessary.

The agreed procedures and tests for the applicable machine shall be included in the repair quality programme.

5.6 User supplied information

5.6.1 User transfer document

The user should provide information requested before a repair by the service facility in the form of a transfer document. The information required from the list will vary depending on the size and type of machine. Relevant information encompasses:

- a) operating environment, temperature, vibration, etc.;
- b) previous repairs, overhauls, modifications;
- c) efficiency requirements;
- d) supply quality, voltage unbalance, inverter harmonics, switching transients;
- e) type of driven equipment;
- f) hours of operation;
- g) active and reactive machine load;
- h) starting method, starting duty, number of starts, inertia, run-up time;
- i) auxiliaries fitted such as thermistors, thermocouples, resistance, temperature detectors;
- j) trending of key reliability parameters, e.g. insulation resistance;
- k) out of phase synchronisations;
- l) over speed and other abnormal operating conditions.

5.6.2 Operating environment

If the machine operates in severe environmental conditions, no repair methods or materials should be used which make the machine more vulnerable to these conditions than when it was originally built.

5.6.3 Converter/inverter operation

If the machine is powered by a converter/inverter, full details of the supply shall be obtained. Many applications designated as 'inverter duty' imply special design features such as magnet wire insulation, insulated bearings, and other precautions to ensure reliable operation.

5.6.4 Health and safety

The user should provide a 'safe to work on' statement advising that the machine contains no harmful chemicals, dust, bacteria, or other harmful substances (e.g. asbestos).

5.7 Documentation

5.7.1 Records

A new record of each machine received shall be established at the time of receipt. This should include (if relevant):

- a) nameplate data;
- b) electrical test data both before and after repair/refurbishment;

- c) mechanical inspection and measurement before and after repair/refurbishment;
- d) winding and connection data, before and after a rewind;
- e) list of replaced parts.

The service facility shall keep records of all work done including checks, measurements, problems found, mode of failure if applicable, repairs, and final tests carried out.

The relevant records should be made available to the user if required.

Records should be held for a minimum of three years, or as agreed with the user or specified in other national regulations or standards, for example 10 years for hazardous area equipment.

5.7.2 Labels and rating plates

The original rating plates shall be retained on the machine.

The repair facilities' name or logo and job number should be placed on a suitable label or indelibly embossed in the vicinity of the manufacturer's nameplate.

If any operational changes arise from the repair an additional rating plate conforming to IEC 60034-1 shall be provided.

6 Assembled machine: inspection, tests and evaluation

6.1 Visual inspection

The preliminary visual inspection forms an important part of the complete machine repair. It can provide information about the general condition of the machine and/or the reason for its failure. The inspection should be carried out before and after cleaning off any debris on the machine and consider whether it is relevant to the cause of failure. Records should be completed before any repair work on the machine is carried out and digital photographs of damaged or missing components, signs of distress, tracking, overheating, and poor lubrication.

Examples of areas to review include:

- a) machine nameplate data, efficiency standards, special rating plates e.g. converter, hazardous area, special service conditions, and transfer documents;
- b) frames, end shields, and bearing covers for signs of cracks or corrosion;
- c) insulation for signs of ageing, partial discharge activity (high voltage stator windings) abrasions, or cracking;
- d) stator core damage such as rotor rubs, loose laminations;
- e) shafts damage, distortion or discolouring;
- f) terminal boxes and glands including gaskets;
- g) cooling fans, ducts, fins, and covers, or blowers if fitted;
- h) heat exchanger systems (air-air, air-water, etc.);
- i) potential missing parts, such as gaskets.

For machines with access covers, or with open access to the stator or rotor, the detailed visual inspection shall include the condition of:

- the stator core;
- the stator winding and end-windings;
- the rotor.

Digital photographs provide an accurate record of how the machine was received. This also provides a visual record of any significant component defects found and provides evidence to the user of the remedial work required.

All findings should be recorded to ensure that a list of remedial action undertaken is available for the final report.

6.2 Tests before dismantling

6.2.1 Safety

In addition to those items covered in 5.6.4, machines should be lifted and handled using the eyebolts, integrally cast bosses, or lifting rings provided. If any doubt exists over the fitted lifting points alternative methods such as slinging should be used.

6.2.2 Application

Whilst still assembled before repair, initial electrical tests carried out can identify obvious winding faults. These tests can find short circuits, open circuits, incorrect connections, high resistance connections, and poor insulation quality. The following selection covers the major tests at this stage.

6.3 Stator winding or rotor winding tests

6.3.1 Winding resistance test

An ohmic resistance test between pairs of isolated line connections of each winding can identify shorted turns, bad connections, wrong connections, and open circuits. The resistance falls rapidly as machines increase in size and will require a suitably accurate measuring method using an ohmmeter or milli-ohmmeter. Any resistive imbalance should be within the defined tolerances. The windings should be at a stable temperature and readings corrected to a mentioned temperature.

6.3.2 Phase balance test

The resistances of each phase, or between any pair of terminals by applying a reduced voltage of around 15 % of rated voltage to the open stator, to give the approximate motor rated current. The results should be compared and any significant unbalance shall be investigated. Criteria should be in accordance with the manufacturer's specifications. Typically the windings resistance should be within 1 % of each other for form wound coils, or 3 % for random wound coils.

6.3.3 Insulation resistance test

The insulation resistance test is fully described in IEC 60034-27-4 (see Table 1). An insulation resistance measurement should be carried out using a megohmmeter recording the test values, and normalise according to the above standard. Measurements shall be for an entire winding: between all windings and ground, between windings if multi-wound, between windings and auxiliaries, and between auxiliaries and earth using a DC M Ω meter for 1 min.

Insulation resistance changes significantly with temperature, humidity and contamination. For trending purposes, insulation resistances should be normalised to a reference temperature (normally 40 °C). Minimum acceptable insulation resistance values corrected to 40 °C are a function of rated voltage, temperature, type of equipment and whether the winding is a repair or a rewind (partial or complete). The following are the lowest values recommended to carry out a voltage withstand test or surge test, or to run when testing complete impregnated windings (see Table 1).

- a) 5 M Ω for low voltage random, form-wound windings, and DC armatures.
- b) 100 M Ω for high voltage synthetic resin based insulation systems (form-wound windings).

- c) Rated voltage (kV) + 1 for high voltage shellac and asphalt based insulation systems and all field windings.

The minimum insulation resistance of one phase of a three-phase winding, tested with the other two phases earthed, should be at least twice that of the entire winding. Grounding time should be at least four times the charging time. If each phase is tested separately and guard circuits are used on the two phases not under test, the minimum resistance should be three times the entire winding.

With all phase windings connected together, to test the entire winding to ground, leakage and stress control coating currents on the end winding are reduced, because lower currents will pass to other phase windings. Therefore it can be expected that the PI will be higher, compared to individual phase winding testing. The same is valid for the IR, as the entire winding has a higher resistance when compared to the values obtained from the sum of single phase winding tests, when calculating the IR from single phase winding measurements.

If the reading is not acceptable then further tests, which can stress the winding to failure, should not be carried out i.e. withstand voltage (hipot) or surge testing. Corrective measures such as cleaning and drying in an oven should be carried out to increase the insulation resistance value to an acceptable level.

Care must be taken to ensure that any electrical or electronic components connected to the windings such as AVR's on generators and instrumentation are disconnected from the windings.

Table 1 – Recommended minimum insulation resistance values at a base temperature of 40 °C reference IEC 60034-27-4

Test object windings	Minimum insulation Resistance R_{i1} MΩ
High voltage shellac and asphalt based insulation systems and all field windings	rated voltage (kV)+1
High voltage synthetic resin based insulation systems (form-wound windings)	100
Low voltage random and form-wound windings and DC armatures	5
R_{i1} is the recommended minimum insulation resistance value in MΩ of an entire winding of the machine corrected to the base temperature of 40 °C kV is the rated machine terminal to terminal voltage, in r.m.s. kV.	

6.3.4 Polarization index test

The polarization index (PI) test is fully described in IEC 60034-27-4, it should be carried out using a megohmmeter and the same voltages as in Table 2 for 10 min. The minimum polarization index for windings rated with Class 130 (B) insulation or higher should be 2,0.

If the reading for insulation resistance is above 5 000 MΩ after 1 min, the PI calculation can become unreliable and could be disregarded.

The determination of the polarization index may not apply to small random wound machine, field windings in generator rotors, non-insulated field and squirrel cage rotor windings, and DC machine armatures.

Table 2 – Guide to application of DC voltages for the insulation resistance and PI test

Rated winding AC voltage: Line to line voltage for three phase machines. Line to ground for single phase machines. Direct voltage for DC machines or field windings. V	DC voltage for insulation resistance tests V
Up to 1 000	500
1 000 to 2 500	500 to 1 000
2 501 to 5 000	1 000 to 2 500
5 001 to 12 000	2 500 to 5 000
Over 12 000	5 000 to 10 000

Tests can be performed at higher magnitude only by agreement between the test service provider and the customer.

6.3.5 No load test

If a no-load test is required before overhaul, refer to 9.4. For completely assembled machines a no-load run should only be performed once all static measurements and inspection have been carried out, to determine whether it is safe to run the machine.

Significant noise and vibration can indicate problems with balance, rubbing cores, resonances, soft foot, or loose components.

Noise level measurements and spectral vibration analyses can give an indication of the type of fault, such as bearing damage, broken rotor bars, etc.

6.4 Shaft and bearings

6.4.1 Shaft checks

The condition of shafts shall be checked for wear, straightness, scoring and damage to the keyway. See Table B.2.

6.4.2 Bearing checks

Turning the shaft by hand can reveal problems with the bearings. A stiff or lumpy action could point to bearing damage from, for example:

- a) inadequate lubrication;
- b) bearing fatigue;
- c) vibration;
- d) improper alignment or installation;
- e) shaft currents;
- f) insufficient load;
- g) overload;
- h) contamination by moisture or foreign material.

6.4.3 Bearing insulation resistance

If fitted and measurable, the resistance of insulated bearings, couplings, pedestals, and shaft seals should be measured and checked against manufacturer's data.

6.5 Rotor cage integrity

6.5.1 General

Where broken bars or a damaged cage are suspected in a machine, either harmonic analysis of the stator current, and the vibration signals under load, or single phase test, should be carried out.

6.5.2 Current signature analysis (harmonic analysis)

The presence in the stator current, and/or in the vibration signals of harmonic components, that differ by twice the slip frequency with respect to the main component, can be an indication of broken bars, or broken cage windings (see ISO 20958).

6.5.3 Single-phase test method

Disconnect the motor from the power supply. The test is carried out by connecting a low voltage single phase supply to any two of the stator winding leads. Keeping the test current close to the rating current, the rotor is rotated by hand. A supply voltage of between 1/8 and 1/4 of the rated voltage should provide a test current of 75 % to 125 % of the rated motor current. If the current varies by more than 3 % from the maximum to minimum, this should be investigated and could be an indication of an open circuit rotor.

6.5.4 Pole drop test – Salient pole rotor (motor or generator)

An AC voltage is applied to the field windings to identify shorted turns with the rotor stationary. The pole drop test is not suitable for finding shorted turns caused by centrifugal forces during operation. Balanced readings should be within a tolerance of 10 % of the average. A follow up DC drop test may be used if the AC test results are not satisfactory, using a recommended 5 % tolerance of the average for the DC test.

7 Dismantled machine: inspection, tests, and evaluation

7.1 General

If the assembled inspection indicates that further investigation is required to determine the extent of repairs or refurbishment, the machine should be dismantled.

End brackets and frames shall be clearly match-marked. During disassembly machine components shall be marked or identified. Bolts and small parts shall be stored in dedicated containers marked with an identification number. Disassembled components or assemblies, shall be suitably stored to prevent damage or deterioration in clean, dry conditions.

The following are additional inspections and tests for different types of machines as required, which should be agreed between all contract partners.

7.2 Cleaning

Record or photograph any debris that might have caused the machine failure. The debris should be examined for root cause analysis.

The machine's instruction manual typically recommends suitable cleaning methods. To keep insulation in good condition and all parts corrosion-free, windings and component parts should be cleaned. Dirt, grease, oil and other contaminants should be removed using appropriate methods, which will not damage the machine, such as pressure washing, steam cleaning, solvent, dry ice, etc.

Cleaning and dismantling should be carried out in a confined area to ensure no contamination by dust, dirt, or spray is transferred to the assembly area for the machine.

7.3 Visual inspection

There should not be any evidence of:

- a) flashovers, short circuits, electrical tracking, corona, or hot spots;
- b) surge damage;
- c) slot wedge deterioration, especially in the composite and magnetic wedges;
- d) loss of insulation integrity in the winding connectors, leads, and terminals;
- e) rotor core rubbing on the stator;
- f) looseness or deterioration of the winding overhangs;
- g) oxidation on metal surfaces.

7.4 Air gap

The air gap should be concentric. Any eccentricities may cause unbalanced magnetic-pull on the rotor, causing increased noise, vibration, and losses. The air gap should be uniform and within 10 % of the average air gap for smaller induction machines; 5 % for 2 pole machines and larger synchronous machines, or compared with manufacturer's data or an initial known value.

7.5 Ventilation

To ensure the correct and energy efficient ventilation, the following items should be checked to ensure that they can perform in accordance with their specification:

- a) covers, louvres, and their accessories;
- b) fans, internal and external;
- c) auxiliary blowers;
- d) duct-work (restrictions might lead to overheating);
- e) no erosion marks on heat exchanger cooler gaskets;
- f) non-standard fans might affect the cooling and efficiency of the machine.

7.6 Stator

The winding should be inspected for evidence of winding failure patterns, e.g. single phasing, surge damage, shorted phase, shorted turns, inverter failure induced modes, grounded, or overloaded. Any tests on the windings not carried out whilst assembled (see 6.2), should be completed. The stator core should be checked for:

- a) loosening of end winding supports and bracing system or presence of abrasion powder, using borescopic inspection where required;
- b) insulation burning, cracking, migration, brittleness or evidence of partial discharge activity;
- c) loose or damaged stator slot wedges or packing;
- d) oil, dust, or moisture surface contamination;
- e) clogging of hollow copper strands (for direct water cooled windings);
- f) damage to accessories such as thermistors, heaters, temperature detectors (RTDs and thermocouples), and associated wiring;
- g) loose or defective laminations, duct spacers or tooth support fingers;
- h) burning due to shorted inter-laminar insulation;
- i) stator core lamination damage in the bore due to rotor contact or loose component impacts;
- j) fretting of the core laminations, or between the laminations and the core, if the rotor core laminations can be dismantled;
- k) burning or fretting at the interfaces between core lamination dovetails and core support bars;

- l) insulated core bolts fitted through the core should have insulation resistance integrity checked;
- m) blockage of cooling gas ducts due to contamination;
- n) evidence of loose dust, watermarks, or rust, due to water ingress or condensation, which might have contributed to the failure;
- o) the stator pack being loose in the stator frame;
- p) lack of concentricity between the stator core bore, and spigot (rabbet) for bearing bracket mounting on the stator frame.

7.7 Rotor

7.7.1 General

The rotor should be removed using safe working practice as dictated by its weight and size. Care shall be taken to avoid damage to the air gap surfaces or the windings. The rotor shall not be allowed to scrape along the surface of the core during removal. A rotor removal tool should be used where necessary. The following items should be checked:

- a) The total indicated run-outs of the rotor shaft extension, bearing journals or mounting surfaces, and seal surfaces, see Tables B.1, B.3, B.4 et B.5.
- b) The rotor outer diameter should be concentric with the bearing journals or mounting surfaces.
- c) The exact position of any axial thrust washers should be noted when dismantling the rotor.
- d) Any previous repairs or machining of the rotor should be checked for accuracy and tolerances.
- e) Any contact between the stator and rotor should be checked. Laminations should be examined for potential hot spots.
- f) The tightness of slot wedges should be checked (if fitted).
- g) The shaft, cooling gas fans, and other attachments to the rotor shaft, should be checked for cracks and strength of connection to the shaft.
- h) The shaft should be checked for straightness, wear, cracks, and absence of damage to the shaft ends.
- i) Note the orientation of the shaft in relation to the main terminal box and leads.
- j) For DC machines refer to 10.5.

7.7.2 Rotor removal: vertical machines

Vertical machines should be handled and dismantled in accordance with the manufacturer's instructions or safe working practices. Lifting safety considerations such as centre of gravity, lifting points, etc. should be correctly assessed and procedures implemented.

The manufacturer normally provides lifting facilities for the machine only, but might provide special lifting facilities for large vertical rotors.

To ensure the correct rebuilding of the machine the following should be recorded:

- rotor lift (end play);
- bearing types;
- special bearing orientation, alignment, and method of securement if applicable.

7.7.3 Cage rotor

The rotor core should be the correct fit on the shaft, sleeve, or spider, onto which the core is assembled. The rotor core outside diameter should be checked for rubs, mechanical damage,

missing parts and burning due to shorted lamination insulation. Bars and end-rings should be inspected for integrity which may include the following optional tests:

- a) growler test to check the magnetic circuit around the rotor bars. The field patterns produced can reveal broken bars or defects in a die-cast rotor;
- b) tap test to check the tightness of fabricated rotor bars in their slots;
- c) rotor retaining ring checked for cracks, if fitted;
- d) rotor slot wedges checked for cracks, where fitted.

7.7.4 Cylindrical wound rotor windings

Recommended tests include the following:

- a) insulation resistance to ground, and between phases if possible;
- b) surge comparison test to confirm winding symmetry;
- c) inspect end-winding banding for cracks and looseness;
- d) the connections between the winding terminals and the slip-rings;
- e) By passing a high AC or DC current through the winding, any cold spots detected by a thermal imaging camera will indicate broken or cracked rotor bars.

7.7.5 Permanent magnet (PM) machines: rotor removal

Extreme care should be taken when removing and reinstalling the rotor from a Permanent Magnet (PM) machine. This should only be carried out by fully trained operatives using the correct equipment and procedures to ensure safe removal and replacement.

7.7.6 Salient pole rotor

The solid poles should be inspected for loose pole tip bolts, cracks, rubbing, overheating, and mechanical damage.

The rotor should be inspected for:

- a) loose pole pieces, and evidence of greasing from pole movement;
- b) cracked connectors;
- c) damaged pole piece laminations;
- d) signs of localized damage due to overheating or turn/turn faults;
- e) distortion of the field pole face or rotor rim face;
- f) the integrity of field coil insulation including washers;
- g) tightness and integrity of pole retaining screws, bolts, or alternative construction;
- h) the integrity of pole/inter-pole blocks, pole/inter-pole block insulation, bolts, or alternative constructions.

7.7.7 Cylindrical solid rotors

In addition for cylindrical solid rotors in turbo-generators and 2 pole high speed synchronous motors, the following checks can be carried out by agreement with the customer:

- a) The rotor teeth, slot wedges, and retaining rings should be checked for cracks using ultrasonic test or magnetic particle test equipment.
- b) The rotor shaft should be checked for cracks using borescopic inspection if required using ultrasonic test, magnetic particle, dye penetrant or eddy current test equipment.
- c) End windings and under the retaining rings should be checked for cracks and insulation damage and integral strength. The insulated winding resistance should be within acceptable limits.

- d) Checks for coil movement, blocking/bracing support for cracking or movement, and inspection of cross over joint and J strap connection, using borescopic inspection if required.

7.8 Slip rings

For correct mechanical and electrical functioning, the following characteristics should be confirmed:

- a) dimensions;
- b) ring surface appearance and patina;
- c) burning;
- d) flatting;
- e) ring run-out;
- f) roughness;
- g) contaminants;
- h) insulation resistance between phases and to earth.

7.9 Brushes and brush-holders

In addition for wound rotors with slip-rings, the following mechanical and electrical characteristics should be checked to ensure the correct current collection against recommended values:

- a) brush holders should be clean and free from any dirt or oil. All moveable parts should be free;
- b) the clearance of the brush holder from the slipring should be 1,5 mm to 3 mm depending on the size of the machine. Manufacturer's specifications should apply;
- c) spring pressure should be checked in accordance with the manufacturer's specifications for the application and brush type, and adjusted if required to provide the correct pressure;
- d) brush pressure should be determined by the spring tension, brush area, and brush weight;
- e) brush grades are the same and correct to the manufacturer's recommendation;
- f) brush wear, and the position of any short brushes;
- g) brushes and brush holders may be marked with a square for metric dimensions and a triangle for inch dimensions. Replacement brushes made to inch dimensions fitted into metric brush holders, or vice versa, might cause problems with an improper fit in the brush holder;
- h) the brush clearance in the brush holder should be checked against recommended values in accordance with IEC 60136, excessive play requires a brush or brush box change. (See 10.4.2, Table 5);
- i) the brush stud insulation should not be charred, cracked, or damaged;
- j) an insulation test should be applied to the brush holders and jumpers at the recommended test voltage.

7.10 Rolling element bearings

Replacement bearings should be equivalent to the original manufacturer's specifications, or be the exact size, type, clearances and precision class, with fit appropriate to the bearing. Bearing friction losses can be reduced if equivalent energy efficient bearings are available. Any bearing fit that is not within tolerance should be restored to the original bearing manufacturer or machine manufacturer's specification. The following checks should be carried out:

- a) The bearing fits on shafts and into housings should be checked and be to the recommended tolerances.
- b) The bearing housing fit into the frame should also be checked and be to recommended tolerances.

- c) The orientation of rolling element thrust bearings should be checked to confirm that it is the same as indicated by the manufacturer.
- d) Grease passages and pipes should be uncontaminated and unblocked. Open bearings should be filled during repair with the quantity and type specified from the bearing manufacturer. Over greasing will increase bearing losses and reduce efficiency. When excess grease enters the enclosure it can create insulation and commutation problems.
- e) Insulated bearings should have their insulation resistance checked to ensure it is at an acceptable level. The insulation resistance shall be greater than 1,0 MΩ if tested at 500 V.
- f) Bearings should be examined for evidence of bearing current damage, or fluting caused by either electrical discharge from a converter drive or inadequate earthing.
- g) Insulation resistance of couplings, pedestals, and shaft seals should be checked where insulated.

7.11 Sleeve bearings

- a) Clearances for the fit in the housing and bearing diameter should meet the manufacturer's original tolerances.
- b) They should be checked for babbitt damage and evidence of bearing-to-shaft journal misalignment.
- c) Oil rings should be round and, if made in two halves, the screw joint integrity should be checked. Retainers and sight glasses should be cleaned, inspected and replaced where necessary.
- d) The tilting pad, thrust bearing pads, and shaft runners, should be inspected for evidence of babbitt damage: wear, fluting, fretting, frosting, scoring and other defects, which might form part of a failure analysis.
- e) Insulated bearings should have their insulation resistance checked to ensure it is at an acceptable level. The insulation resistance must be greater than 1,0 MΩ if tested at 500 V.
- f) Bearings should be examined for evidence of bearing current damage, or fluting caused by, for example, electrical discharge from a converter drive or inadequate earthing.
- g) Insulation resistance of couplings, pedestals, and shaft seals, should be checked if insulated.

7.12 Seals and labyrinth seals

Clearance should be set to the equipment manufacturer's specifications.

8 Repair work

8.1 Winding inspection

- a) The pattern and colouration of any winding failure is an indication of the cause of failure of a machine and part of any root cause failure analysis. A record, or photographic evidence should be kept of any failure pattern.
- b) Before removing the windings the service facility shall produce a diagram of the existing winding showing coil groupings, parallels/phase, phase connections and temperature detector locations. Areas showing signs of stress or failure can be added to the diagram to assist root cause analysis.
- c) Coil/bar dimensions should be taken and recorded before removal. After winding removal record the slot, coil, bar, conductor, strand dimensions, coil pitch or pitches, insulation types, and turns/coil.
- d) The winding data taken above, should be checked for accuracy, and is the basis of copying the original winding. The completed winding should be as good as, or better than, the original winding. The cross section area of the wire should be at least equal to the manufacturer's original specification. An increase in the cross sectional area will increase the efficiency of the machine.

8.2 Core inspection

These are not in a procedural order.

- a) A core loss test or loop test should also be carried out if there has been any evidence of core rub due to bearing failure, excessive radial overloading, earth fault damage, corrosion, or potential age related core plate insulation deterioration. Full flux test 1,32 Tesla (50 Hz), or 85 000 lines per square inch (60 Hz). A value in excess of 12 W/Kg (50 Hz) or 10 W/Kg (60 Hz) will necessitate remedial action to reduce total core losses.
- b) The hot spot temperature limit for a full flux test on the core of a machine is a temperature increase of > 10 K (or higher by agreement). This is referred to as the rated induced axial voltage (or flux), hot spots > 10 K require repair. All areas of the core identified with hot spots shall be repaired, reinsulated, new laminations fitted, or a new core pack.
- c) It may be necessary to dismantle and restack cores either by reuse of the existing laminations or installation of new laminations. If the existing laminations are reused, damaged laminations have to be reinsulated. When using new laminations, it might be possible to reduce the iron losses using the lower loss electrical steels and optimising the machine design of the stator for additional efficiency. Lower loss steels can increase the excitation current.
- d) Core plate stack tightness and slot irregularity shall be within acceptable limits, and the core pack shall not be axially displaced from the stator, if the rotor is replaced.
- e) If the air gap surfaces of the laminations are uneven, or smeared together by mechanical damage, it may be possible to repair the damage by careful etching or grinding. The core should not be subjected to excessive grinding and filing. Care shall be taken that this does not increase the stray losses and affect the machine efficiency.
- f) If a pyrolysis or a burn out oven is used to carbonize the winding insulation before extraction, the temperature used should be carefully controlled to protect the electrical and insulation characteristics of the magnetic laminations. Machines should be placed in the oven horizontally, to avoid damage being caused by a chimney effect. The use of uncontrolled heat on a stator pack, or thermal lance is not recommended. A burn out oven temperature of 360 °C to 370 °C is suitable for most modern electrical steels and inter laminar insulation. On machines with high quality inorganic inter-laminar insulation, which is known to be ec5, ec6 coating, or better, as per IEC 60404-1-1, a temperature of up to 400 °C is acceptable. If there is any doubt the manufacturer's recommendation should be obtained as to any limitations in burn out procedures. Care should be taken with the temperature/time profile appropriate for organic or oxide insulation of core plate.
- g) A comparison of core loss readings before and after burn out should also be checked. An increase of more than 20 % in the core losses shall require remedial action to reduce the increase in core losses.
- h) There should be a controlled water, steam, or inert gas suppression system to damp down any overheating caused by the combustion of the insulation materials.
- i) A record should be kept of the core burn-out temperature limits, how the temperature is measured, and the location of the temperature sensing element relative to the equipment being burned-out.
- j) Windings should be removed in a manner that does not damage the laminations, care should be taken when cutting off the coil extension (normally the one opposite the connection end) or extracting the windings from the slots.
- k) The slots in the core should be clean and free from debris and sharp edges before replacing the windings.

8.3 Rewinding

8.3.1 General

The core, ventilation ducts, and frame shall be cleaned, inspected, and corrosion protected, if required, prior to a rewind and assembly, to avoid contamination.

8.3.2 Random wound coils

- a) A high quality winding wire should be used wherever possible, and consideration given to meet the demands of any converter drives fitted.
- b) Random wound coils should be neat, with a minimum of crossed conductors, and the forming process should not damage the conductor insulation.
- c) With modern insulation materials, winding wire, and copper, it can be possible to increase the copper section of conductors, which will reduce copper losses, and lead to an increase in efficiency. Care should be taken with reference to starting current.
- d) To maintain the efficient performance and minimize any mechanical clearance issues, the winding overhangs and mean length of turn (MLT) should be kept no greater than the original winding, whilst maintaining the end winding projection.
- e) End-windings should be finished to ensure adequate clearance by shaping and lacing, taking into account the mechanical forces and cooling during starting.
- f) Wedges should be inserted along the full length of the core with gaps permitted. They shall have the required material characteristics and thermal rating and be securely fitted into the slots. Particular care and additional devices can be required for vertical machines. It is not recommended to fit wedges longer 200 mm.
- g) Inter phase insulation should be used as barriers wherever possible.
- h) The winding may be altered to a two-layer lap winding, as opposed to the machine wound concentric winding, as long as the new winding has the same flux per pole as the original. The lap winding is generally easier and quicker to install and can help to minimize the winding overhangs and mean length of the turn (MLT) to maintain or improve efficiency. As all coils have equal exposure to the air flow, cooling can also be improved. Phase insulation and bracing of the coils for mechanical strength is also improved. Care should be taken not to reduce the MLT too much, which can make the machine difficult to wind and could affect the cooling of the windings.
- i) If required the number of poles, pole pitch and the rotating direction can be checked with a DC current and compass.

8.3.3 Form-wound coils

- a) Splicing or bypassing of high voltage coils are not acceptable repair procedures, however if time is of the essence, they can offer an expedient in-field repair to keep a customer operating at a reduced output. These repair methods can provide time for a planned repair, or a replacement machine/stator to be sourced, as long as they are carried out with the full agreement of the customer.
- b) Careful records and dimensions should be taken to ensure the correct fit of the preformed coils if manufacturing the coils in house, or as requested by an external coil manufacturer.
- c) To maintain the efficient performance and minimize any mechanical clearance issues, the winding overhangs and mean length of turn (MLT) should be kept no greater than the original winding whilst maintaining the end winding projection. The gap between coils in the end-winding and clearance to winding covers should be maintained.
- d) With modern insulation materials, winding wire, and copper, it can be possible to increase the copper section of conductors, which will reduce copper losses, and lead to an increase in efficiency. Care should be taken with reference to starting current.
- e) Form-wound coils should be shaped without damage to the conductor insulation. Each layer of insulation should be uniform and firmly applied to minimize air voids.
- f) Where high mechanical strength is required it might be necessary to apply varnish between each insulation layer, taking care that the material is compatible with the insulation system data.
- g) Where machines have surge rings (winding supports) fitted they shall be suitably insulated, if necessary.
- h) End-windings should be finished to ensure adequate clearance by shaping and bracing, taking into account the mechanical forces and cooling during starting.

8.3.4 Rewound stator tests

Before impregnation the new windings should be tested to ensure there are no wrong connections, or other faults. The winding resistance test, and surge comparison test (if required) should be carried out before the withstand voltage test.

8.3.5 Winding resistance test

A winding resistance test shall be carried out using an ohmmeter or milli-ohmmeter (see 6.3.1). Compare with previous readings or manufacturers data if available.

8.3.6 Surge comparison (or phase balance) test

A surge comparison test can be carried out, if required, using a surge comparison tester. A high voltage pulse is applied into two different sets of winding leads. The output is then monitored on an oscilloscope or screen. A satisfactory winding should give a single overlapping trace with a crest voltage of up to 1 000 V.

8.3.7 Withstand voltage test

This test is also known as a high potential, hipot, or flash test. New windings shall be able to withstand the appropriate Withstand voltage test in accordance with IEC 60034-1.

A test voltage, as specified in Table 3, shall be applied between the windings and the frame of the machine, with the core and the windings not under test connected to the frame. The withstand voltage test shall be carried out if previous tests have been passed.

The withstand voltage test at full voltage made on the windings shall not be repeated. If, however, a second test is required, the test voltage shall be 80 % of the voltage specified in Table 3.

To determine the test voltage from Table 3 for DC motors supplied by static power converters, the direct voltage of the motor or the r.m.s. phase-to-phase value of the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter shall be used, whichever is the greater.

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

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

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

Table 3 – Withstand voltage tests as per IEC 60034-1

Item	Machine or part	Test voltage (r.m.s.)
1	Insulated windings of rotating machines of rated output less than 1 kW (or kVA) and of rated voltage less than 100 V with the exception of those in items 4 to 8	500 V + twice the rated voltage
2	Insulated windings of rotating machines of rated output less than 10 000 kW (or kVA) with the exception of those in item 1 and items 4 to 8 ^b	1 000 V + twice the rated voltage with a minimum of 1 500 V ^a

Item	Machine or part	Test voltage (r.m.s.)
3	Insulated windings of rotating machines of rated output 10 000 kW (or kVA) or more with the exception of those in items 4 to 8 ^b Rated voltage ^a : – up to and including 24 000 V – above 24 000 V	1 000 V + twice the rated voltage Subject to agreement
4	Separately excited field windings of DC machines	1 000 V + twice the maximum rated circuit voltage with a minimum of 1 500 V
5	Field windings of synchronous generators, synchronous motors and synchronous condensers.	
5a)	Rated field voltage: – up to, and including 500 V, – above 500 V	Ten times the rated field voltage with a minimum of 1 500 V 4 000 V + twice the rated field voltage
5b)	When a machine is intended to be started with the field winding short-circuited or connected across a resistance of value less than ten times the resistance of the winding	Ten times the rated field voltage with a minimum of 1 500 V and a maximum of 3 500 V.
5c)	When the machine is intended to be started either with the field winding connected across a resistance of value equal to, or more than, ten times the resistance of the winding, or with the field windings on open circuit with or without a field-dividing switch	1 000 V + twice the maximum value of the r.m.s. voltage, which can occur under the specified starting conditions, between the terminals of the field winding, or in the case of a sectionalized field winding between the terminals of any section, with a minimum of 1 500 V ^c
6	Secondary (usually rotor) windings of induction machines or synchronous induction motors if not permanently short-circuited (e.g. if intended for rheostatic starting)	
6a)	For non-reversing motors or motors reversible from standstill only	1 000 V + twice the open-circuit standstill voltage as measured between slip-rings or secondary terminals with rated voltage applied to the primary windings
6b)	For motors to be reversed or braked by reversing the primary supply while the motor is running	1 000 V + four times the open-circuit standstill secondary voltage as defined in item 6a)
7	Exciters (except as below)	As for the windings to which they are connected
	<i>Exception 1:</i> exciters of synchronous motors (including synchronous induction motors) if connected to earth or disconnected from the field windings during starting	1 000 V + twice the rated exciter voltage, with a minimum of 1 500 V
	<i>Exception 2:</i> separately excited field windings of exciters (see item 4)	
8	Electrically interconnected machines and apparatus	A repetition of the tests in items 1 to 7 above should be avoided if possible, but if a test is performed on a group of machines and apparatus, each having previously passed its withstand voltage test, the test voltage to be applied to such an electrically connected arrangement shall be 80 % of the lowest test voltage appropriate for any individual piece of the arrangement ^d
9	Devices that are in physical contact with windings, for example, temperature detectors, shall be tested to the machine frame. During the withstand test on the machine, all devices in physical contact with the winding shall be connected to the machine frame.	1 500 V
^a For two-phase windings having one terminal in common, the voltage in the formula shall be the highest r.m.s. voltage arising between any two terminals during operation.		

Item	Machine or part	Test voltage (r.m.s.)
b	Withstand tests on machines having graded insulation should be the subject of agreement.	
c	The voltage occurring between the terminals of the field windings, or sections thereof, under the specified starting conditions, may be measured at any convenient reduced supply voltage, and the voltage so measured shall be increased in the ratio of the specified starting supply voltage to the test supply voltage.	
d	For windings of one or more machines connected together electrically, the voltage to be considered is the maximum voltage that occurs in relation to earth.	
e	The leakage current drawn by the machine during withstand voltage test will vary according to the size of the machine.	

8.3.8 Thermal protection

Thermocouples, thermistors, and resistance temperature detectors should be checked and replaced with identical or equivalent replacements. Built-in thermal protection and embedded temperature detectors shall be of the same type or equivalent replacements and in the same locations as the originals in accordance with IEC 60034-11, unless otherwise agreed.

8.3.9 Conductors and connections

- a) The current capability, temperature rating, insulation and mechanical qualities of new conductors should match or exceed the original specification and be appropriate to the temperature classification.
- b) Connections should not introduce high resistance joints into winding circuits.
 - 1) Brazing, crimping, welding, soldering shall be mechanically and electrically as good as the original.
 - 2) Pastes, fluxes, etc., should be neutralized after use, if necessary.
 - 3) Connections shall have a lower electrical resistance than the windings being joined.

8.3.10 Insulation system

- a) The complete insulation system and method of application should consist of compatible materials to meet the electrical, mechanical, and thermal rating of the machine. The insulation system should be suitable for the environment that the machine will be operating in.
- b) The insulation materials and application methods should be at least as good as, or better than, the original, e.g. a winding insulated with Class 130 (B) for 130 °C material would normally be upgraded to a minimum of Class 155 (F) for 155 °C material, where possible. This will give added protection to minimize future failures and overcome hot spots or unusual load conditions. Materials used should be compatible with one another both mechanically and electrically.
- c) The insulation system should be upgraded, if required, to meet the additional demands placed on the system by a converter drive.

8.3.11 Impregnation

This is an area where the service facility can work closely with the user to ensure the most suitable insulation system is used to match the actual application requirements.

The varnish and/or resin impregnation, if required, should be applied for mechanical and electrical strength, and cured at the manufacturer's recommended temperature over a suitable period of time for the size of machine.

Pre-heating the wound core improves the penetration of the insulation. Double dip might be required for some particularly demanding applications, if time permits, and the product allows it. Wound cores should be introduced to the varnish close to vertical from the bottom up, to force the air out of the wound core, and fill the air gaps with varnish.

Where cores have radial air ducts, with contra flow on each duct, cores will require rotary curing of the varnish.

Suitable application systems are:

For low voltage:

- a) dip and bake;
- b) trickle: The electrically heated winding is impregnated by capillary and gravity action;
- c) vacuum pressure (VPI).

For high voltage:

- d) vacuum pressure (VPI) or vacuum (VI);
- e) resin-rich tapes and foils. Alternative methods for form wound and high voltage machines.

A good penetration of impregnant and full cure helps transfer any heat generated in the windings to the coolant, helping to keep the winding temperature down and improving efficiency.

8.3.12 Wound rotor banding

Banding, where used, should be mechanically strong enough to withstand the centrifugal forces, starting currents and vibrations of the application.

The winding should be concentric to the bearing journals and consolidated prior to banding, if practical.

Resin filled glass banding shall be stored at the correct temperature before use.

Wire banding should be applied over an insulating barrier. The materials used and dimensions shall match the original. Note that allowance might have been made in the magnetic circuit for banding materials.

8.4 Components

8.4.1 General

The original components shall be evaluated to prove their fitness for the intended future service requirements.

Replacement components shall conform to the latest standards where practical, or to the original standards. Their performance should be identical to or greater than the original. A quality system should cover the requirements for material storage and testing before use.

Mechanical components shall be examined for defects. Any cracks, distortion, breaks, wear and tear, or weld integrity should be replaced or repaired to the manufacturer's specifications or the original standards, where they exist.

8.4.2 Housing and end brackets

The correct orientation of the end bracket and stator frame spigot (rabbet) shall be maintained. The original fits are not always perfectly circular. Rebuilt or sleeved bearing housings shall also be to the same dimensions and tolerances as originally manufactured. The end brackets and bearing caps should be refitted in exactly the same position as originally fitted.

Any reclamation is usually done by using welding, sleeving or metal spraying techniques. Material is built up and then machined to the manufacturer's dimensions. Any filling of components using epoxy compounds or similar should be agreed with the user prior to use.

Broken or missing cooling ribs should be replaced, and airways should be clear and unblocked, to maintain the integrity of the cooling characteristics.

A replaced or refitted stator frame should not be too tight a fit onto the stator, which would increase core losses, nor too loose which would obstruct normal heat transfer and increase the core losses. An interference fit should be to manufacturer's tolerances, or to good engineering practice.

8.4.3 Fans and fan cowls

Replacement fans or fan cowls should be dimensionally and structurally equivalent to the original. A replacement fan should be optimized in a way that ventilation losses are equivalent to or better than the original design.

Any proposed fan repairs should be agreed by the user. It is preferable to obtain replacement fans from the original machine manufacturer if available. The fan is an integral part of the ventilation system, which has been optimized for efficiency and performance. A larger fan will decrease the energy efficiency due to the extra power absorbed, but may make the machine run cooler, and a smaller fan will increase the efficiency of the machine, but may make the machine run hotter. Energy efficient machines tend to have smaller fans matched to the machines requirements.

Rises in operating temperature reduces the life of the insulation system, and alterations should only be carried out in consultation with the customer.

Fans shall be firmly fitted to the shaft by the original factory method. Welding to the shaft is not permitted.

8.5 Rotor

8.5.1 General

The axial position of the rotor relative to the stator should be centred axially within the stator core. If displaced, centring forces will exert undue pressure on the bearings. If displaced beyond the end of the stator core, there will be an increase in magnetising current. For machines with sleeve bearings, the relative axial position of the rotor with respect to the stator during operation shall be checked during the tests in order to avoid excessive axial force on the bearings endplay. The correct axial position should be indicated on the machine as per 9.5.

8.5.2 Air gap

The air gap should be measured and an acceptable minimum confirmed including an even radial distribution. Any increase in air gap will affect the efficiency of the machine.

8.5.3 Cage rotor

The resistivity and chemical composition of original rotor bar and end-ring materials should be measured to ensure that the replacement materials are the same.

Fabricated squirrel cage windings, including damper, should be a tight fit in the rotor slots.

Brazing or welding the end-rings to the rotor bars, as dictated by materials, should maintain the original design characteristics.

After fabrication the electrical joints should be examined to confirm integrity and full penetration of the joints.

Die cast cage rotors with damaged bars are beyond repair and should be replaced with rotors from the original manufacturer.

8.5.4 Salient pole rotor

Dye penetrant and/or magnetic particle tests should be carried out on forgings and castings.

8.5.5 Slip-rings

- a) The slip rings should be concentric with the bearing journals. The limits of concentricity depend on machine type, size, and surface speed. They should conform to the manufacturer's criteria.

Typical limits for new slip rings:

< 0,025 mm if 25 m/s and above;

< 0,035 mm if 15 m/s and above;

< 0,050 mm if 5 m/s and above.

- b) The surface of the rings should be smooth with a recommended roughness parameter of R_a 0,75 μm to 1,25 μm .
- c) There should be sufficient ring material to ensure proper brush performance. Refer to the manufacturer's limits.
- d) Slip-rings should be re-machined if there is evidence of increased wear to the brushes or degradation of the slip-ring surface due to eccentricity.

8.5.6 Capacitors

Where fitted, capacitors should meet their rated capacitance and checked using a withstand voltage test. Replace where necessary.

8.5.7 Switches and starting components

All centrifugal switches, starting relays, should be checked for correct operation and replaced where necessary.

8.5.8 Excitation components

Rectifying, smoothing, and protection components shall be checked for function and security.

8.6 Shafts

In some cases, shafts can be repaired using sleeving, spiral welding methods, or additional machining. If metal spraying techniques are used, a bond strength of 40 MPa is recommended. Metal spraying is not recommended where peripheral speed exceeds 90 m/s.

Before using any remedial process to recover a shaft, the damaged area shall be non-destructively tested to identify any cracks using dye penetrant, magnetic particle tests, or other methods. All cracks to be removed.

Electroplating is an acceptable procedure providing the part is not weakened beyond safe limits. Procedures for chromium and nickel plating are given in ISO 6158 and ISO 4526 respectively.

Bearing seats can be reclaimed by metal spraying or welding techniques. Rebuilt bearing seats shall be to the correct size as the original and within the machine manufacturer's or bearing manufacturer's tolerances. Peening shafts to improve fit is not recommended as it is an uncontrolled process.

Where bearing journals are severely worn, it might be necessary to obtain a replacement or manufacture a new shaft. If the shaft is replaced, the replacement material should have the same magnetic and mechanical properties as the original.

Reclamation by welding shall only be considered if the technique employed ensures the correct penetration and fusion of the weld with the parent metal. This will ensure adequate reinforcement, the prevention of distortion, the relief of stresses, and the absence of blow-holes. It should be recognized that welding raises the temperature of the component to a high level and can cause fatigue cracks to propagate. Recommended rotary/spiral welding techniques are:

- a) MIG: metal inert gas;
- b) TIG: tungsten inert gas;
- c) Sub-arc: MIG under a layer of flux;
- d) Hot wire.

Shafts subject to high radial loads might not be suitable for welding. Shaft straightness (run-out) and flange concentricity should conform to the manufacturer's criteria. See Tables B.3, B.4 et B.5.

8.7 Bearings

Rolling element anti-friction grease bearings should normally be replaced by equivalents with the original class and fit, unless found to be unsuitable for the application. Drive end roller bearings may be specified for increased radial load capacity, or thrust bearings for high axial loads. It can take up to 24 h of running before the new bearings settle down. Extreme cleanliness is required to avoid contamination of the bearing and/or lubrication during replacement. A clean work area should be used during the rebuild and reassembly. The axial clearance, allowing the thermal expansion of the shaft, shall be checked and assured.

Greased bearings should be filled in accordance with the user's recommendations regarding type and quantity. The grease should be applied from a sealed container to avoid contamination. Over greasing of bearings will result in a loss of efficiency.

Bearing fits on shafts, into housings, and housing fits into frames should be carefully checked against tolerances. See Tables B.4 and B.5. Pre-load washers or locking plates should be replaced as specified on the original machine. Where anti rotation grease between the bearing housing and the bearing outer race has been used by the manufacturer on low noise machines, the anti-rotation grease shall be applied to the housing before fitting the bearing.

Sleeve bearings should be bedded in following the manufacturer's recommendations. In cases where the bearings are insulated, the function of the insulation should be tested, and the results recorded. New or remanufactured sleeve bearings should be uniform in diameter, of proper fit, and smooth internally. They should be suitably grooved for the recommended distribution of lubrication, and positioned to eliminate end-thrust against either bearing on horizontal machines.

8.8 Lubrication

8.8.1 Grease

All grease passages and pipes shall be uncontaminated and unblocked. The grease inlet shall be suitably protected from contamination. Grease reservoirs should be filled to the bearing manufacturer's instructions.

Greases used shall be as specified by the manufacturer, bearing manufacturer, or as agreed with the user.

Over greasing of bearings can considerably decrease the efficiency of the machine.

8.8.2 Oil

Oil used shall be as specified by the manufacturer and filled to the correct indicated oil level. Oil should be drained before transit and added on arrival. The need for lubricant before commissioning should be clearly identified.

8.9 Space heaters

Space heaters should be checked for their rated current and power and withstand voltage tested. They and their wiring should be replaced if faulty. Replacement wiring should be suitable for the machine's thermal class.

8.10 Temperature sensors

Sensors taking winding, bearing, or cooling gas temperatures should be replaced with identical components to ensure the same level of protection, if faulty.

8.11 Ingress and corrosion protection

Before assembly all components and assemblies should be cleaned and protected against corrosion. During assembly, all ingress protection measures, such as seals, gaskets, and o-rings shall be replaced, where required, to maintain the original protection levels.

8.12 Terminal boxes and connections

Terminal boxes should be checked for condition and be repaired back to the original standard. Damaged or missing parts such as bolts, gaskets, seals, etc., should be replaced. There should be no overcrowding of terminals in the terminal box. The presence of surge arresters or smoothing capacitors requires special attention to check their integrity.

The insulation on winding leads should not show any signs of overheating or brittleness. All terminals shall be firmly crimped or brazed onto the winding lead. A record should be kept of:

- a) the positions of any links between terminals;
- b) the size and type of lead wire;
- c) the size and style of lug.

9 Final tests

9.1 Test equipment

Regularly used test equipment instrumentation should be calibrated annually. Intermittently used instruments can have their calibration periods extended within the quality management system. Tests to prove performance will use the information from the relevant parts of the IEC 60034 series, unless otherwise agreed between the user and the service facility. For test tolerances refer to IEC 60034-1. Where equivalent tests were carried out prior to repair, the original and final results should be compared. See Table 4 below for a minimum schedule of routine tests.

Table 4 – Minimum schedule of routine tests as per IEC 60034-1

Number	Test	Induction machines (including synchronous induction motors ^a)	Synchronous machines		DC machines with separate or shunt excitation
			Motors	Generators	
1	Resistance of windings (cold)	Yes	Yes	Yes	Yes
2	No-load losses and current ^e	Yes			
3a	No-load losses at unity power factor ^b		Yes ^d	Yes ^d	
3b	No-load excitation current at rated voltage by open-circuit test ^b		Yes ^d	Yes ^d	
4	Excitation current at rated speed and rated armature voltage				Yes
5	Open circuit secondary induced voltage at standstill (wound rotor) ^c	Yes			
6a	Direction of rotation	Yes	Yes		Yes
6b	Phase sequence			Yes	
7	Withstand voltage test (New windings and new rewinds)	Yes	Yes		Yes

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

9.2 Insulation resistance

An insulation resistance measurement should be carried out using a megohmmeter, and normalised according to IEC 60034-27-4, refer to 6.3.3.

9.3 Winding resistance

The resistance of each winding shall be measured and normalized to a referenced temperature. In the case of three-phase windings, the resistance of each phase or between line terminals shall be balanced. (See 6.3.1).

9.4 No load test

If the machine can be run on no load after reassembly, a no load test shall be performed at the rated voltage and frequency. The speed and current should be recorded. The provisions and tolerances in IEC 60034-1 on rating and performance shall apply to repaired or refurbished machines. For larger machines this may be carried out on site or by agreement.

- a) The ambient temperature and temperature rise of the machine and bearings should also be checked until stable.
- b) The cooling system should also be checked for satisfactory operation, and be in accordance with IEC 60034-6 (methods of cooling).

- c) Sound level checks can also be made as an indication of faults and to ensure that they fall within the recommendations of IEC 60034-9 for noise levels.
- d) Vibration levels taken on no-load are a key indicator of machine health. The measurement, evaluation and limits of vibration severity should be in accordance with IEC 60034-14, (mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher). The rotor should be dynamically balanced at no load to IEC 60034-14 standards A or B as agreed with the user. 'A' applies to machines with no special vibration requirements.

9.5 Magnetic centre marking (by agreement)

Required where the user requires a visual indicator that the magnetic centre is within the safe axial limits of the mechanical endplay. Normally indicated by a suitable mark on the shaft.

9.6 Locked rotor test (where applicable)

For the locked rotor test, the locked rotor current and the locked rotor torque shall be measured in accordance with IEC 60034-1 and compared to the manufacturer's data, if available.

9.7 Full load run for motors

This is normally run in agreement with the customer and depending on the available test facilities to check the full operating characteristics of the machine. The test is particularly relevant to check critical machines that are going to be difficult to return to the workshop after fitment either due to location, confined space, lifting gear requirements, shipping, offshore etc. Additional tests might include efficiency and temperature rise measurements, indirect load tests, excess current and torque tests, and torque/speed tests.

9.8 Zero power factor full current heat run (by agreement)

Where possible for synchronous machines.

9.9 Electromagnetic compatibility (by agreement)

Compliance where necessary.

9.10 Auxiliaries

Check of temperature, vibration, speed detectors, etc.

9.11 Salient pole DC or AC drop test

Winding comparison test.

10 Additional requirements for DC machines

10.1 General

IEC 60034-19 should be referred to for specific test methods for DC machines on conventional and rectifier-fed supplies. For rail and road traction motors, IEC 60349-1 should be referred to for specific requirements.

10.2 Assembled DC machine: inspection, tests and evaluation

10.2.1 General

This 10.2 contains additional requirements for DC machines, whilst still assembled before repair.

10.2.2 No load test, or light load run

If possible, shunt-wound and compound wound DC motors should be run with rated voltage applied to the armature and rated field current applied to the shunt field. This should result in a speed approximately 10 % above the rated speed. The speed measured and no load current should be compared to the nameplate data, if available, or to the manufacturer's test data. Series wound DC machines shall be separately excited or mechanically loaded to protect against the danger of running away.

DC generators should be driven at rated speed with the rated current applied to the shunt field. The output voltage should be measured and compared with the rated voltage.

There should be no visible brush sparking during the no-load test. The level of sparking, if present, should be recorded.

Noise level measurements and vibration analyses can give an indication of the type of fault. Significant noise and vibration during the no load test can indicate problems with balance, rubbing cores, resonances, soft foot, bearing faults, or loose components.

10.2.3 Bar to bar test

This test measures the resistance between two adjacent commutator bars. The test can detect shorts or high resistances in the coil, or commutator to coil, connections.

10.2.4 Surge test

A high voltage pulse is applied into two sections of the armature winding. The output is then monitored on an oscilloscope. A satisfactory winding should give a single overlapping trace. A crest voltage of 1 000 V is applicable.

10.3 Dismantled condition: inspection, tests and evaluation

10.3.1 Field winding

Electrical testing options should include:

- a) DC resistance measurement;
- b) surge comparison test to confirm symmetrical winding;
- c) drop test using AC or DC voltage with series connected coils.

10.3.2 Inter-pole and compensation winding

Inter-poles have few turns and a low resistance. For large DC machines, compensation windings are connected in series. For these large DC machines, the tests below shall be applied to a series connected set of inter-pole winding and compensation winding for each pole, instead of each "inter-pole". Testing should include:

- a) AC drop test using high current supply;
- b) surge test comparing each pair of inter-poles;
- c) impedance test for current comparison, using low voltage AC to each inter-pole and comparing the current drawn.

10.3.3 Armature winding

Winding tests should include:

- a) visual check for obvious faults such as shorted coils or ground faults;
- b) growler test using an induced voltage into the armature winding;
- c) bar to bar resistance or voltage drop test;

- d) high frequency bar to bar test comparing different sections of the armature, if required;
- e) surge comparison test for symmetry;
- f) end winding banding checked for defects;
- g) withstand voltage test, by agreement, if the fault needs to be found in the workshop rather than on site.

10.3.4 Commutator

During repair the following areas should be inspected to maximize commutator life, where necessary a digital picture can be taken to record patterns and condition:

- a) dimensions;
- b) run-out;
- c) eccentricity;
- d) fastener tightness;
- e) segments too high, too low, or loose;
- f) flat spots;
- g) banding tightness, replace if contaminated or incorrect fit;
- h) commutator surface film finish (patina) and wear patterns;
- i) roughness;
- j) check segment's bevelled edges;
- k) the position of mica between the segments and below the bar surface;
- l) copper drag between the armature and segments;
- m) presence of contamination (check if presence of contaminants such as grease or excessive carbon dust).

10.4 Repair work

10.4.1 Commutator dimensions

For machines larger than 1 kW the recommended commutator surface roughness should be between R_a 0,9 μm and 1,8 μm . The insulating material should be undercut or left flush as determined by the application. No high or flat spots, low or loose segments should exist. There should be sufficient radial depth on the commutator bar to ensure proper brush performance, and within the manufacturer's limits.

The commutator run out/concentricity shall be measured. Recommended limits are listed below. The commutator shall be turned to be concentric with the bearing journals.

- $\varepsilon < 0,020$ mm if greater than 45 m/s;
- $\varepsilon < 0,030$ mm if 25 m/s to 45 m/s;
- $\varepsilon < 0,050$ mm if less than 25 m/s.

where ε is a commutator eccentricity.

10.4.2 Brush-holders

To ensure correct current conduction the following should be checked. Poor current conduction leads to commutator wear.

- a) A record should be made of the brush-holder position relative to the commutator in terms of the neutral position, the pitch and the mechanical clearance from brush holder to commutator surface, axial alignment, and tangential offsets.

- b) Brush holders should be clean and free from any dirt or oil. All moveable parts should be free.
- c) The position of the brush holder should be checked to present the brush at its correct orientation on the commutator and maintain equal spacing around the commutator between the brushes. This can include radial or tangential brush alignment, axial and tangential brush staggers, as well as the inter brush pitch.
- d) The clearance of the brush holder from the commutator should be 1,5 mm to 3 mm depending on the size of the machine. Manufacturer's specifications should apply.
- e) Spring pressure should be checked in accordance with the manufacturer's specifications for the application and brush type, and adjusted if required to provide the correct pressure for good commutation. Brush pressure should be determined by the spring tension, brush area, and brush weight.
- f) Brushes and brush holders may be marked with a square for metric dimensions and a triangle for inch dimensions. Replacement brushes made to inch dimensions fitted into metric brush holders, or vice versa, might cause problems with an improper fit in the brush holder.
- g) The brush clearance in the brush holder should be checked against recommended values. Excessive play requires a brush or brush box change. See Table 5 below.
- h) The brush stud insulation should not be charred, cracked, or damaged. An insulation test should be applied to the brush holders and jumpers at the recommended test voltage.

Table 5 – Brush to brush holder clearance (Extract from Table 1 of IEC 60136:1986)

Nominal brush dimensions	Clearance	
	mm	
Width and thickness	Max	Min
1,6/ 2,0/ 2,5	0,144	0,044
3,2	0,158	0,050
4,0/ 5,0	0,178	0,050
6,3/ 8,0/10,0	0,193	0,055
12,5/ 16,0	0,232	0,072
20,0/ 25,0	0,254	0,080
32,0/ 40,0/ 50,0	0,300	0,100
64,0/ 80,0	0,330	0,110

10.4.3 Brushes

The brush mounting in the brush holder should be free, clean and a perfect sliding fit. The brush connections should be tight in the brush, and not permit current to pass through to the brush spring. The face of the brush should be seated to make full contact with the commutator.

Brush wear and the position of short brushes should be identified and rectified if necessary. If worn beyond their useful length, they should be replaced.

Brush grades should be the same and correct to the manufacturer's recommendation. All brushes should be of the same grade unless specified differently by the machine or brush manufacturer. If the grades differ from the manufacturer's recommendation, verify with the user whether they differ intentionally, taking into account the operating conditions and environment.

10.4.4 Brush neutral

The brush arrangement should be set for brush neutral as per IEC 60034-19 with the position clearly marked. The preferred method is described below, but other methods may be applied

when not possible. The neutral is set with the brushes fully seated by applying 100 V-240 V AC to the shunt fields, and measuring the AC voltage between the brush holders of opposite polarity. The brush holder assembly should be moved to obtain the lowest induced voltage. If the induced voltage cannot be set to 10 mV or less, the brush spacing, seating, or field polarity should be checked.

Once the DC machine is assembled, each brush shall contact at least two commutator bars at the same time, which short circuits the armature coil connected to these bars. When the armature coils shorted by the brushes are midway between the main poles, the brushes are considered set for brush neutral.

10.4.5 Field, inter-pole, and compensation windings

Pole geometry and dimensional checks should be carried out. The back of pole liner shall be replaced as found, including non-magnetic packing elements. Stationary shunt, series, inter-pole, and compensation windings should be varnish treated to the level of the original manufacture.

10.4.6 Air gap

The radial air gaps for all poles and inter-poles in DC machines should be uniform and to the manufacturer's recommendations. The air gaps for inter-poles should be considered as one set; the field pole air gaps independent of the inter-pole air gap. The air gaps for each set should be equal, and within $\pm 5\%$ of the average air gap reading. On some machines the air gap of the inter-poles can be varied by the manufacturer to obtain better commutation.

10.4.7 Rotor run-outs

Prior to reassembly, measure the shaft extension, bearing journal or seat, and rotor body straightness by taking Total Indicator Readings (TIR) with the rotor mounted in a lathe, V-blocks, or rollers. Record the results and confirm they are within the manufacturer's acceptance limits.

10.4.8 Rotor balance

The rotor shall be balanced after all cleaning, testing, inspections and repairs have been completed. This shall be done on a balancing machine in accordance with ISO 21940-11 for rigid rotors.

If the rotor is outside the following residual unbalance limits, the rotor shall be trim-balanced: recommended values are:

- a) G2.5 Balance Quality Grade for speeds under 2 500 rpm.
- b) G1.0 Balance Quality Grade for speeds over 2 500 rpm.

The following balance weight requirements shall be adhered to for rotor balancing:

- c) All balance weights shall be mechanically attached.
- d) Attachment of balance weights to fan blades should be avoided wherever possible.
- e) Rolling element bearing mounting hubs and tilting pad thrust bearing runners shall be mounted on the shaft for balancing.
- f) Either the half coupling or a half key shall be installed on the shaft extension for rotor balancing.
- g) If the rotor has an external, shaft mounted cooling fan, this shall be installed for balancing.
- h) Large two and four pole rotors, and large high speed machine rotors, can require balancing at rated speed, when a critical speed occurs below the rated speed and safety dictates. This is recommended when the critical speeds are expected to be below the nominal speed of the rotor.

10.5 DC machines final tests

10.5.1 Brush holders

An insulation test should be applied to the brush holders and jumpers.

10.5.2 No load test or light load test

After static tests have been completed the motor should be test run. Refer to 10.2.2.

11 Additional requirements for high voltage AC machines (by agreement)

11.1 Assembled HV machine, inspection and tests

11.1.1 General

These additional checks are for different types of machine, which are optional, and should be agreed between all contract partners. The additional tests are for high voltage AC machines, whilst still assembled before repair, if not already carried out.

11.1.2 The tan-delta (tip-up test in North America)

Also known as the power factor, or tip-up test, is performed at increasing values of voltage. These tests are a useful non-destructive insulation dielectric test for 5 kV and above. Partial discharges usually start above this level of voltage.

11.1.3 Partial discharge test

Partial discharge tests may be used as one of the insulation condition measurement, quality predictive tools for equipment rated at 3 kV and above. The correct interpretation of the test results requires good experience of the insulation system under examination.

11.2 Dismantled HV machine , inspection and tests

11.2.1 Dielectric dissipation factor test

To verify insulation quality this test should be applied to windings to ground and also on terminal bushings.

11.2.2 Dielectric dissipation factor tests of stator winding coils and bars

If rewinding, or partial rewinding with new or used coils/bars, the dissipation factor test should be performed to check the insulation quality of each coil/bar up to the rated voltage (refer to IEC 60034-27-3).

11.2.3 Stator slot wedge deterioration

All loose or damaged composite and magnetic wedges should be inspected and if damaged replaced.

11.2.4 Stator winding slot and overhangs discharge suppression

The slot and coil or bar, overhangs discharge suppression components should be checked for effectiveness. This can be done by using an AC voltage source to energize the winding to the rated phase-to-ground AC voltage or slightly higher, and observing it in the dark or with an ultraviolet camera for evidence of surface partial discharges (corona).

11.3 High voltage machines: final tests

11.3.1 High voltage withstand test: for HV machines

A withstand voltage test in accordance with IEC 60034-1 shall be applied between windings and ground, and between windings where multi-wound. Tests should be by agreement for fully wound and partially rewound machines as per Table 3.

For machines with a rated voltage 6 kV or greater, when power frequency equipment is not available, a DC test may be carried out at a voltage 1,7 times the r.m.s. value given in Table 3 (by agreement). It is recognized that, during a DC test, the surface potential distribution along the end winding insulation and the ageing mechanisms are different from those occurring during an AC test.

Machines with a rated voltage above 1 kV, and having both ends of each phase individually accessible, shall have the test voltage applied between each phase and the frame, with the core and the other phases and windings not under test connected to the frame.

The test shall be commenced at a voltage not exceeding half of the full test voltage. The voltage shall then be increased to the full value, steadily or in steps of not more than 5 % of the full value, the time allowed for the voltage to increase from half to full value being not less than 10 s. The full test voltage shall then be maintained for 1 min in accordance with the value as specified in 8.3.7, Table 3.

There shall be no failure during this period (see IEC 60060-1).

The withstand voltage test at full voltage made on the windings shall not be repeated. If, however, a second test is required, the test voltage shall be 80 % of the voltage specified in 8.3.7, Table 3.

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

11.3.2 Withstand voltage tests, for overhauls and partial rewinds (by agreement)

Machines with voltages greater than 1 000 V AC or 1 500 V DC might require additional tests. This shall be the subject of the repair or overhaul contract.

11.3.3 Over-speed test (by agreement)

Where rotors are subjected to high centrifugal stresses in operation an over-speed test may be carried out as per IEC 60034-1 depending on application, and in agreement with the customer.

11.3.4 Short circuit run (by agreement)

Short circuited armature test to give saturation curve.

11.3.5 Remnant voltage (by agreement)

Rotating exciters.

11.3.6 Cooling circuit leakage tests (by agreement)

Water cooled windings tested to avoid leakage into the winding insulation.

12 Additional tests for high voltage generators

12.1 Stator winding crevice corrosion

Direct water cooled machines, with hollow conductors of copper material, should have the tightness of the water chamber brazing checked for a dry winding with a helium leakage test. Additionally the brazing condition should be inspected by borescopic inspection, to check for possible crevice corrosion inside the water chamber.

Machines should also be tested for leakage of the cooling circuits.

12.2 Solid cylindrical rotor

The insulation integrity of the up-shaft leads, radial connectors, and slip rings should be checked.

Amortisseur windings should be checked for cracks, distortion, or movement out of the rotor laminations.

12.3 Cooling circuits (hydrogen/water)

Hydrogen cooled machine gas-tightness of up-shaft leads and radial connectors should be confirmed. Vacuum or air testing may be employed unless operating pressure is established. Refer to IEC 60034-6.

13 Customer reports and handover

13.1 Exterior finish

All machines should be prepared during repair and painted to meet the customer's requirements and environment. Paint should not clog up any ventilation, drainage, or lubrication holes. Shafts should be treated to protect against corrosion.

13.2 Transport and packaging

The machine should be suitably protected during transport to the customer. Depending on the size of machine, the shaft may require blocking during transport. Any blocking should be clearly identified for the customer.

Machines with oil lubrication should be shipped without oil and the need for lubricant before commissioning should be clearly identified.

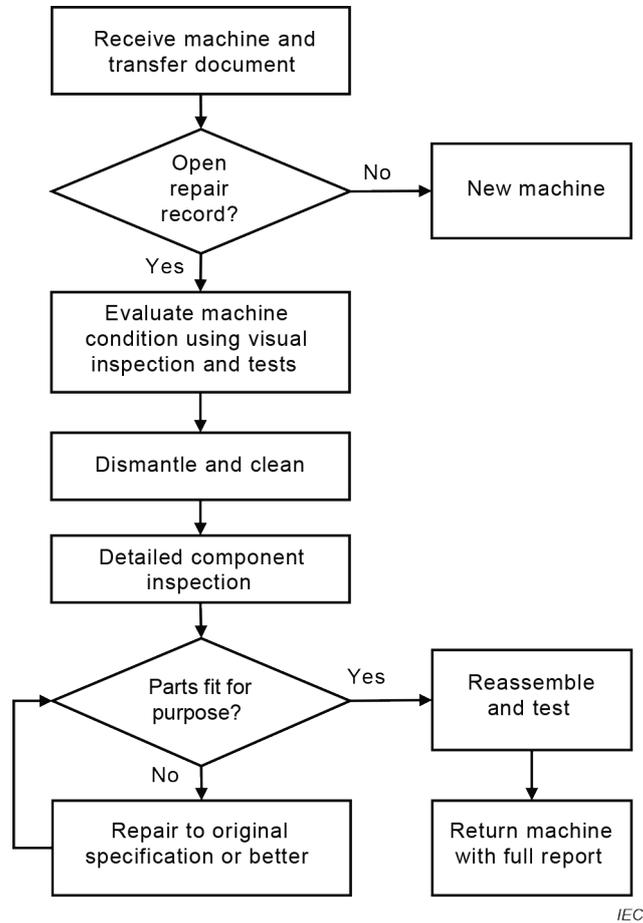
13.3 Report to the user

At the completion of the work, job reports should be submitted to the user containing, at least, the following:

- a) details of any faults detected including the prime cause of failure if determined;
- b) full details of the repair and overhaul;
- c) list of replaced or reclaimed parts;
- d) results of all checks and tests;
- e) copy of the user contract or order.

Annex A (informative)

Flow chart for repair, overhaul and reclamation



IEC

This diagram is not intended to be prescriptive, and gives a suggested sequence for the repair process.

Annex B (informative)

Standard extracts and tolerance tables

The tables below are for frame sizes 56 to 400, and flanges 55 to 1080 from IEC 60072-1, for larger machines with frame sizes from 355 to 1000, and flanges from 1180 to 2360 refer to IEC 60072-2. Dimensions in inches are also available in these two standards.

Table B.1 – Shaft extensions and couplings reference IEC 60072-1

Tolerance Designation	Nominal shaft diameter		Tolerance	
	Over mm	Up to mm	mm	mm
j6*	6	10	+0,007	-0,002
j6*	10	18	+0,008	-0,003
j6*	18	30	+0,009	-0,004
k6	30	50	+0,018	+0,002
m6	50	80	+0,030	+0,011
m6	80	120	+0,035	+0,013
m6	120	180	+0,040	+0,015
m6	180	250	+0,046	+0,017
m6	250	315	+0,052	+0,020
m6	315	400	+0,057	+0,021
m6	400	500	+0,063	+0,023
m6	500	630	+0,070	+0,026

j6* in some countries the k6 tolerance is used instead of j6.
Width of keyway: IEC 60072-1:1991, (C.1.5) for B01 and B06 as per ISO/R 773.

**Table B.2 – Dimensions for the width of keyway to take keys to a tap fit
(IEC 60072-1:1991, C.1.5)**

Nominal width of keyway. B01, B06		Tolerance: (Normal keys N9)	
Over mm	Up to mm	mm	mm
2 up to	3	-0,004	-0,029
3 up to	6	0	-0,030
6 up to	10	0	-0,036
10 up to	18	0	-0,043
18 up to	30	0	-0,052
30 up to	50	0	0,062
50 up to	80	0	-0,074
80 up to	100	0	-0,087

Lateral displacement of keyway: the tolerance for lateral displacement of the keyway is 0,250 mm. As per the details in IEC 60072-1:1991, C.5.2.

Table B.3 – Table of tolerances for shaft extension run-out

Nominal shaft diameter D01 and D06		Maximum permissible change in indicator reading: Shaft run-out	
Over mm	Up to mm	Option 1 mm	Option 2 mm
6	10	0,030	0,015
10	18	0,035	0,018
18	30	0,040	0,020
30	50	0,050	0,025
50	80	0,060	0,030
80	120	0,070	0,035
120	180	0,080	0,040
180	250	0,090	0,045
250	315	0,100	0,050
315	400	0,110	0,055
400	500	0,125	0,063
500	630	0,140	0,070

Shaft extension run-out limit values: IEC 60072-1:1991, C.6.1.

Shaft extension diameter tolerances for D01 and D06 (IEC 60072-1:1991, C.1.4).

The tolerance on shaft extension run-out shall be in accordance with Table B.3, which applies to rigid foot-mounted and flange-mounted machines. In the absence of any indication, tolerances in Option 1 apply.

**Table B.4 – Table for mounting spigot diameter tolerances
(IEC 60072-1:1991, C.1.7)**

Tolerance designation	Nominal spigot diameter		Tolerances Option 1(j6<250, h6>250)	
	Over mm	Up to mm	mm	mm
j6	30	50	+0,011	-0,005
j6	50	80	+0,012	-0,007
j6	80	120	+0,013	-0,009
j6	120	180	+0,014	-0,011
j6	180	250	+0,016	-0,013
h6	250	315	0	-0,032
h6	315	400	0	-0,036
h6	400	500	0	-0,040
h6	500	630	0	-0,044
h6	630	800	0	-0,050
h6	800	1 000	0	-0,056
h6	1 000	1 250	0	-0,066
h6	1 250	1 600	0	-0,078
h6	1 600	2 000	0	-0,092
h6	2 000	2 200	0	-0,110

Tolerances for D20 mounting spigot (rabbet) diameter, and D25 (when there is a second mounting flange). The tolerances in IEC 60072-1:1991, C.1.7 are in accordance with Table B.4, applicable to mounting flanges of FF, FT, and F1 types.

**Table B.5 – Table for concentricity of spigot diameter and perpendicularity
of mounting face to shaft extension (IEC 60072-1:1991, C.7.1)**

Nominal spigot diameter		Eccentricity and face run-out	
Over mm	Up to mm	Option 1 mm	Option 2 mm
40	100	0,080	0,040
100	230	0,100	0,050
230	450	0,125	0,063
450	800	0,160	0,080
800	1 250	0,200	0,100
1 250	2 000	0,250	0,125
2 000	2 240	0,315	0,160

Tolerances for flanges-spigot diameter and face run-out.

The tolerances on concentricity of spigot diameter D20 and D25 and perpendicularity of mounting face to shaft extension shall be shown as per IEC 60072-1:1991, C.7.1 applicable to machines with FF, FT, and F1 type flange mountings.

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 60034-2-2, *Rotating electrical machines – Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests – Supplement to IEC 60034-2-1*

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

IEC 60034-4-1, *Rotating electrical machines – Part 4-1: Methods for determining electrically excited synchronous machine quantities from tests*

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

IEC 60034-7, *Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of constructions and mounting arrangements (IM code)*

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

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

IEC 60034-10¹, *Rotating electrical machines – Part 10: Conventions for description of synchronous machines*

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

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

IEC 60034-16-1, *Rotating electrical machines – Part 16-1: Excitation systems for synchronous machines – Definitions*

IEC TS 60034-16-2², *Rotating electrical machines – Part 16-2: Excitation systems for synchronous machines – Models for power system studies*

IEC TS 60034-16-3³, *Rotating electrical machines – Part 16-3: Excitation systems for synchronous machines – Dynamic performance*

IEC 60034-18-1, *Rotating electrical machines – Part 18-1: Functional evaluation of insulation systems – General guidelines*

¹ This publication was withdrawn.

² Under preparation. Stage at the time of publication: IEC TS/CD 60034-16-2:2018.

³ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC TS/CD 60034-16-3:2018.

IEC 60034-18-21, *Rotating electrical machines – Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification*

IEC 60034-18-22⁴, *Rotating electrical machines – Part 18-22: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Classification of changes and insulation component substitutions*

IEC 60034-18-31, *Rotating electrical machines – Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines*

IEC 60034-18-32, *Rotating electrical machines – Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance*

IEC TS 60034-18-33, *Rotating electrical machines – Part 18-33: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Multifactor evaluation by endurance under simultaneous thermal and electrical stresses*

IEC 60034-18-34, *Rotating electrical machines – Part 18-34: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation of thermomechanical endurance of insulation systems*

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

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

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

IEC 60034-27-1, *Rotating electrical machines – Part 27-1: Off-line partial discharge measurements on the winding insulation*

IEC TS 60034-27-2, *Rotating electrical machines – Part 27-2: On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60034-27-3, *Rotating electrical machines – Part 27-3: Dielectric dissipation factor measurement on stator winding insulation of rotating electrical machines*

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

IEC 60072-1:1991, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 1: Frame numbers 56 to 400 and flange numbers 55 to 1080*

IEC 60349-1, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors*

IEC 60404-1-1, *Magnetic materials – Classification – Part 1-1: Surface insulations of electrical steel sheet, strip and laminations*

IEEE 1068:2015, *Standard for the Repair and Rewinding of AC Electric Motors in the Petroleum, Chemical, and Process Industries*

⁴ This publication was withdrawn and replaced by IEC 61858-1:2014.

ISO/R 773⁵, *Rectangular or square parallel keys and their corresponding keyways*

ISO 4287, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters*

ISO 4526, *Metallic coatings – Electroplated coatings of nickel for engineering purposes*

ISO 6158, *Metallic and other inorganic coatings – Electrodeposited coatings of chromium for engineering purposes*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

ISO 20816-1, *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 1: General guidelines*

ISO 20958, *Condition Monitoring and diagnostics of machine systems – Electrical signature analysis of three phase induction motors*

ISO 21940-12, *Mechanical vibration – Rotor balancing – Part 12: Procedures and tolerances for rotors with flexible behaviour*

ISO 21940-32, *Mechanical vibration – Rotor balancing – Part 32: Shaft and fitment key convention*

Association of Electrical and Mechanical Trades (AEMT), *The Repair of Induction Motors – Best practices to Maintain Energy Efficiency*, 1997

Advanced Energy, Colon, R., *Guidelines for a Good Motor Repair*, 199

Department of Energy, USA, *Model Repair Specifications for Low Voltage Induction Motors*, 1999

Department of Energy, USA, *Motor Repair Tech Brief*, 2000

Department of Energy, USA, *Service Centre Evaluation Guide*, 1999

ANSI/EASA AR100-2015, *Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus*

EASA/AEMT, *The Effect of Repair/rewinding on Motor Efficiency*, 2003

G. Klempler, I. Kerszenbaum, *Handbook of Large Turbo-generator Operation and Maintenance*, Wiley-IEEE Press, 2008

G. Stone et al, *Electrical Insulation for Rotating Machines – design, evaluation, aging, testing and repair*, Wiley-IEEE Press, 2014

W.T. Thomson, I. Culbert, *Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors*, Wiley-IEEE Press, 2017

⁵ This publication was withdrawn.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	56
1 Domaine d'application	58
2 Références normatives	58
3 Termes et définitions	59
4 Principes généraux	61
4.1 Utilisation des documents de référence	61
4.2 Zones dangereuses	61
4.3 Applications spéciales	61
4.4 Rendement	61
4.5 Rendements des systèmes	61
4.6 Environnement, fin du cycle de vie et recyclage	62
4.7 Économie circulaire	62
5 Exigences générales concernant la réparation	63
5.1 Généralités	63
5.2 Atelier de service	64
5.3 Étendue du travail	64
5.4 Normes	64
5.5 Programme qualité	65
5.6 Informations fournies par l'utilisateur	65
5.6.1 Document de transfert de l'utilisateur	65
5.6.2 Environnement de fonctionnement	66
5.6.3 Fonctionnement en mode convertisseur/variateur	66
5.6.4 Santé et sécurité	66
5.7 Documentation	66
5.7.1 Enregistrements	66
5.7.2 Étiquettes et plaques signalétiques	66
6 Machine assemblée: contrôle, essais et évaluation	67
6.1 Contrôle visuel	67
6.2 Essais avant démontage	68
6.2.1 Sécurité	68
6.2.2 Application	68
6.3 Essais d'enroulement statorique ou rotorique	68
6.3.1 Mesure de résistance des enroulements	68
6.3.2 Essai d'équilibre des phases	68
6.3.3 Mesure de résistance d'isolement	68
6.3.4 Mesure de l'index de polarisation	69
6.3.5 Essai à vide	70
6.4 Arbre et paliers	70
6.4.1 Vérifications des arbres	70
6.4.2 Vérifications des paliers	70
6.4.3 Résistance d'isolement des paliers	71
6.5 Intégrité de la cage de rotor	71
6.5.1 Généralités	71
6.5.2 Analyse de signature du courant (Analyse harmonique)	71
6.5.3 Méthode de l'essai monophasé	71
6.5.4 Essai de chute des pôles – Rotor à pôles saillants (moteur ou génératrice) ...	71

7	Machine démontée: contrôle, essais et évaluation	71
7.1	Généralités	71
7.2	Nettoyage	72
7.3	Contrôle visuel.....	72
7.4	Entrefer	72
7.5	Ventilation.....	72
7.6	Stator.....	73
7.7	Rotor	73
7.7.1	Généralités	73
7.7.2	Retrait du rotor: Machines verticales.....	74
7.7.3	Rotor à cage.....	74
7.7.4	Enroulements de rotor bobiné cylindrique	74
7.7.5	Machines à aimants permanents (PM – <i>permanent magnet</i>): Retrait du rotor.....	75
7.7.6	Rotor à pôles saillants	75
7.7.7	Rotors massifs cylindriques	75
7.8	Bagues	76
7.9	Balais et porte-balais	76
7.10	Paliers à éléments roulants.....	76
7.11	Paliers à coussinets.....	77
7.12	Dispositifs d'étanchéité et joints à labyrinthe.....	77
8	Réparation.....	77
8.1	Contrôle des enroulements	77
8.2	Contrôle du rotor.....	78
8.3	Rebobinage	79
8.3.1	Généralités	79
8.3.2	Bobines à enroulements à fils jetés	79
8.3.3	Bobines préformées.....	80
8.3.4	Essais concernant les stators rebobinés	80
8.3.5	Essai de résistance des enroulements.....	80
8.3.6	Essai de comparaison des surtensions (ou d'équilibre des phases)	80
8.3.7	Essai de tension de tenue.....	81
8.3.8	Protection thermique	83
8.3.9	Conducteurs et raccords	83
8.3.10	Système d'isolation.....	83
8.3.11	Imprégnation	84
8.3.12	Frettage de rotor bobiné	84
8.4	Composants.....	85
8.4.1	Généralités	85
8.4.2	Logement et supports d'extrémité	85
8.4.3	Ventilateurs et carénages de ventilateurs	85
8.5	Rotor	86
8.5.1	Généralités	86
8.5.2	Entrefer	86
8.5.3	Rotor à cage.....	86
8.5.4	Rotor à pôles saillants	86
8.5.5	Bagues	86
8.5.6	Condensateurs	87
8.5.7	Interrupteurs et composants de démarrage.....	87
8.5.8	Composants d'excitation.....	87

8.6	Arbres.....	87
8.7	Paliers	88
8.8	Lubrification	88
8.8.1	Graisse.....	88
8.8.2	Huile.....	89
8.9	Radiateurs	89
8.10	Capteurs de température	89
8.11	Indice de protection et protection contre la corrosion	89
8.12	Boîtes à bornes et raccords.....	89
9	Essais finaux	89
9.1	Équipements d'essai	89
9.2	Résistance d'isolement	90
9.3	Résistance des enroulements	90
9.4	Essai à vide	90
9.5	Marquage du centre magnétique (par accord)	91
9.6	Essai à rotor bloqué (le cas échéant)	91
9.7	Marche à pleine charge pour les moteurs.....	91
9.8	Essai d'échauffement à plein courant à facteur de puissance zéro (par accord)	91
9.9	Compatibilité électromagnétique (par accord)	91
9.10	Auxiliaires	91
9.11	Essai de chute des pôles saillants en courant continu ou alternatif	91
10	Exigences supplémentaires pour les machines à courant continu	92
10.1	Généralités	92
10.2	Machine à courant continu assemblée: contrôle, essais et évaluation	92
10.2.1	Généralités	92
10.2.2	Essai à vide ou essai à faible charge.....	92
10.2.3	Essai barre à barre	92
10.2.4	Essai de surtension	92
10.3	Machine démontée: Contrôle, essais et évaluation.....	92
10.3.1	Enroulement de champ.....	92
10.3.2	Enroulement de pôles auxiliaires et bobine de compensation.....	93
10.3.3	Enroulement de l'induit	93
10.3.4	Collecteur	93
10.4	Réparation	94
10.4.1	Dimensions du collecteur.....	94
10.4.2	Porte-balais	94
10.4.3	Balais	95
10.4.4	Position neutre des balais.....	95
10.4.5	Enroulements d'excitation et de pôles auxiliaires et bobines de compensation	95
10.4.6	Entrefer	96
10.4.7	Faux-ronds du rotor	96
10.4.8	Équilibre du rotor	96
10.5	Essais finaux sur les machines à courant continu	96
10.5.1	Porte-balais	96
10.5.2	Essai à vide ou essai à faible charge.....	97
11	Exigences supplémentaires concernant les machines à courant alternatif haute tension (par accord)	97
11.1	Machine haute tension assemblée: contrôle et essais	97

11.1.1	Généralités	97
11.1.2	Tan delta (essai «tip-up» en Amérique du Nord)	97
11.1.3	Essai de décharge partielle.....	97
11.2	Machine haute tension démontée: contrôle et essais	97
11.2.1	Essai du facteur de dissipation diélectrique	97
11.2.2	Essais du facteur de dissipation diélectrique des bobines et barres des enroulements statoriques.....	97
11.2.3	Détérioration des cales d'encoches du stator.....	97
11.2.4	Suppression de décharges des encoches et des têtes de bobines des enroulements statoriques.....	97
11.3	Machines haute tension: essais finaux	98
11.3.1	Essai de haute tension de tenue pour les machines haute tension.....	98
11.3.2	Essais de tension de tenue pour les révisions et les rebobinages partiels (par accord)	98
11.3.3	Essai de survitesse (par accord).....	98
11.3.4	Essai en court-circuit (par accord)	98
11.3.5	Tension résiduelle (par accord)	98
11.3.6	Essais de fuite de circuits de refroidissement (par accord)	99
12	Essais complémentaires pour les génératrices haute tension	99
12.1	Corrosion caverneuse des enroulements statoriques	99
12.2	Rotor cylindrique massif.....	99
12.3	Circuits de refroidissement (hydrogène/eau)	99
13	Rapports destinés au client et transfert.....	99
13.1	Finition extérieure	99
13.2	Transport et conditionnement.....	99
13.3	Rapports destinés à l'utilisateur	99
Annexe A (informative) Organigramme pour la réparation, la révision et la remise en état .		101
Annexe B (informative) Extraits de normes et tableaux des tolérances.....		102
Bibliographie.....		105
Figure 1 – Composants d'une machine électrique		63
Tableau 1 – Valeurs minimales recommandées de résistance d'isolement à une température de référence de 40 °C (norme de référence IEC 60034-27-4).....		69
Tableau 2 – Guide pour l'application des tensions continues pour la mesure de résistance d'isolement et d'index de polarisation		70
Tableau 3 – Essais de tension de tenue conformément à l'IEC 60034-1.....		82
Tableau 4 – Liste minimale des essais individuels de série conformément à l'IEC 60034-1...		90
Tableau 5 – Jeu entre les balais et le porte-balais (tiré du Tableau 1 de IEC 60136:1986).....		95
Tableau B.1 – Bouts et accouplements d'arbres (se reporter à l'IEC 60072-1)		102
Tableau B.2 – Dimensions pour la largeur de rainure de clavette pour un ajustement taraudé des clavettes (IEC 60072-1:1991, C.1.5).....		102
Tableau B.3 – Tableau des tolérances relatives au faux-rond des bouts d'arbres.....		103
Tableau B.4 – Tableau des tolérances relatives au diamètre d'emboîtement de fixation (IEC 60072-1:1991, C.1.7)		104
Tableau B.5 – Tableau indiquant la concentricité du diamètre d'emboîtement et la perpendicularité de la face d'appui par rapport au bout d'arbre (IEC 60072-1:1991, C.7.1) .		104

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 23: Réparation, révision et remise en état

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60034-23 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes.

Cette première édition annule et remplace l'IEC TS 60034-23 parue en 2003. Cette édition constitue une révision technique.

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

- le titre de la norme a été modifié en "*Machines électriques tournantes – Partie 23: Réparation, révision et remise en état*";
- Article 1 Domaine d'application
 - turbogénératrices à refroidissement par hydrogène ajoutées à des applications spéciales;

- ajout des maintien ou amélioration du rendement énergétique assigné
- ajout de l'assurance de la prise en compte des considérations liées à l'environnement
- ajout de l'Article 4 Principes généraux pour couvrir: les zones dangereuses, les moteurs de traction, le rendement des machines, l'environnement, la fin du cycle de vie et le recyclage, ainsi que des considérations concernant l'économie circulaire;
- Article 5 Exigences générales: les thèmes suivants sont maintenant traités:étendue du travail, santé et sécurité, normes, qualité, informations exigées et documentation;
- Les Annexes B and C originales intégrées dans le corps de la norme;
- mise à jour de l'Article 9 Essais finaux;
- Article 10 Exigences supplémentaires pour la réparation et les essais sur les machines à courant continu ajoutées;
- Article 11 Exigences supplémentaires pour la réparation et les essais sur les machines à courant alternatif haute tension ajoutées;
- Article 13 Rapports destinés au client et transfert ajouté;
- Nouvelle Annexe B normes et tolérances ajoutée.

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

FDIS	Rapport de vote
2/1923/FDIS	2/1924/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60034 publiées sous le titre général *Machines électriques tournantes*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 23: Réparation, révision et remise en état

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60034 couvre les procédures nécessaires pour assurer la réparation, la révision et la remise en état de tous types et tailles de machines électriques tournantes couvertes par la série IEC 60034. La norme crée une procédure industrielle générique qui couvre les aspects courants d'une réparation complète. L'étendue du travail dépend du type de machine, de ses caractéristiques assignées, de son état, ainsi que de l'importance de la fiabilité et de la sécurité de l'installation. Elle comprend

- la détermination de la cause de défaillance, si nécessaire;
- la détermination de l'étendue de la réparation, le cas échéant;
- la définition des caractéristiques de fonctionnement révisées, les conditions de fonctionnement et les conditions ambiantes, si elles sont exigées;
- l'examen de la conception originale et l'amélioration de la spécification de la conception, si cela est exigé;
- la mise en évidence de la qualité et des caractéristiques de fonctionnement de la machine réparée; maintien ou amélioration du rendement énergétique assigné
- l'assurance de la prise en compte des considérations liées à l'environnement

Cette norme ne remplace pas les exigences spécifiées dans l'IEC 60079-19 ou dans tout autre document concernant la réparation et la révision des machines utilisées dans des atmosphères explosives.

Les machines pour applications spéciales, telles que les applications hermétiques, submersibles, nucléaires, avec machines à refroidissement par hydrogène, militaires, aéronautiques et avec moteurs à traction peuvent avoir des exigences supplémentaires pour lesquelles un accord est conclu entre l'atelier de service et l'utilisateur.

La norme technique n'est pas destinée à se substituer aux instructions et aux recommandations du constructeur de la machine d'origine.

Les nouvelles conceptions et les modifications des caractéristiques de fonctionnement exigeant la communication de données du concepteur de la machine ne relèvent pas du domaine d'application de la présente spécification.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60034 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes*

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

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

IEC 60034-11, *Machines électriques tournantes – Partie 11: Protection thermique*

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

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

IEC 60050-411:1996, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 411: Machines tournantes*

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

IEC 60072-2, *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes – Partie 2: Désignation des carcasses entre 355 et 1000 et des brides entre 1180 et 2360*

IEC 60079-19, *Atmosphères explosives – Partie 19: Réparation, révision et remise en état de l'appareil*

IEC 60136:1986, *Dimensions des balais et porte-balais pour machines électriques*

ISO 21940-11, *Vibrations mécaniques – Équilibrage des rotors – Partie 11: Modes opératoires et tolérances pour rotors à comportement rigide* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60034 (toutes les parties), ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1

client

personne ou entreprise qui commande une réparation auprès de l'atelier de service, et qui peut ou peut ne pas être le propriétaire ou l'utilisateur de la machine

3.2

démontage

désassemblage d'une machine en composants ou sous-ensembles

3.3

maintenance

actions courantes effectuées pour conserver les conditions de bon fonctionnement total de l'appareil installé

3.4

constructeur

partie responsable de la fabrication de la machine telle qu'elle a été fournie à l'origine

3.5

révision

action de remettre en condition de bon fonctionnement total un appareil qui a été utilisé ou stocké pendant un certain temps, mais qui n'est pas défectueux

3.6

remise en état

moyen d'effectuer une réparation comprenant le retrait ou l'adjonction de matériau pour remettre en état des composants qui ont subi des dommages afin que de telles parties soient remises en condition de bon fonctionnement conformément aux normes et aux spécifications d'origine

3.7

réparateur

partie responsable des travaux de reconditionnement, ses sous-traitants et fournisseurs

3.8

reconditionnement

processus total de réhabilitation d'une machine, non adéquate pour le service avec une maintenance normale, pour la rendre apte à continuer son utilisation

3.9

norme correspondante

norme selon laquelle l'appareil a été conçu à l'origine

3.10

réparation

action de remettre un appareil défectueux en condition de bon fonctionnement total, tout en satisfaisant à la norme correspondante

3.11

réparateur

constructeur, utilisateur ou tierce partie (atelier de réparation) qui effectue la réparation de l'appareil

3.12

rebobinage

partie du reconditionnement consistant à enlever et remplacer tout ou partie des enroulements de machine, de leurs isolations, raccordements et supports

3.13

atelier de service

constructeur, utilisateur ou tierce partie (atelier de réparation) fournissant un service qui comprend la réparation, la révision ou la remise en état de l'appareil

3.14

condition de bon fonctionnement

condition qui permet l'utilisation de parties ou de l'appareil sans altérer les caractéristiques de fonctionnement

3.15

utilisateur

possesseur ou partie organisant ou exigeant la réparation

4 Principes généraux

4.1 Utilisation des documents de référence

Les machines plus anciennes faisant l'objet d'une réparation ont été conçues pour être conformes aux premières versions des normes correspondantes applicables au moment de leur fabrication. Elles peuvent ne pas être en mesure de satisfaire aux exigences des normes les plus récentes. Si tel est le cas, il convient de se reporter à la première norme pour les spécifications selon lesquelles la machine a été fabriquée.

4.2 Zones dangereuses

Le présent document peut être utilisé conjointement avec l'IEC 60079-19, mais ne se substitue pas aux exigences spécifiées dans la dernière version de l'IEC 60079-19. Des restrictions spéciales s'appliquent, y compris

- l'étendue de la réparation autorisée par la certification des machines,
- la compétence «Ex» individuelle du personnel,
- les limites de conception spécifiques de concepts de protection différents.

4.3 Applications spéciales

Pour les moteurs de traction ferroviaire et routière, l'IEC 60349-1 est utilisée par les constructeurs de ces machines. Il convient que le centre de maintenance utilise également les informations fournies dans l'IEC 60349-1 pour assurer la qualité de ses réparations, conjointement à la norme en matière de réparation IEC 60034-23.

4.4 Rendement

Lorsque les machines ont été conçues pour satisfaire aux normes concernant les performances énergétiques minimales (MEPS – *minimum energy performance standards*), comme dans le cas des classes de rendement décrites dans l'IEC 60034-30-1 et l'IEC TS 60034-30-2. Elles peuvent être soumises à des exigences légales afin de maintenir les niveaux de rendement. Les machines conçues peuvent avoir fait l'objet d'une vérification par essai d'une tierce partie avec indication des rendements minimaux déclarés sur la plaque signalétique. Il est important que la réparation ou le rebobinage de toutes les machines suive les meilleures pratiques décrites dans le présent document afin de garantir l'absence de toute dégradation des caractéristiques de fonctionnement.

Les moteurs à rendement énergétique actuels doivent relever d'une limite de tolérance fixée dans la spécification de leur rendement assigné. Tout atelier de réparation et tout centre de maintenance du constructeur ou indépendant, ayant un système de contrôle qualité adapté, appliquant les matériaux modernes et utilisant la présente norme, peuvent maintenir ou améliorer le rendement d'une machine dans les limites de tolérance de rendement d'origine pour la satisfaction desquelles la machine a été conçue.

4.5 Rendements des systèmes

Si un moteur a déjà été adapté à une machine à rendement énergétique, une réparation constitue alors souvent la solution la plus écologique pour prolonger la durée de vie de la machine, et maintenir son rendement assigné. Il convient que le processus d'évaluation d'une machine prenne en considération la décision de réparation ou de remplacement.

Il s'agit souvent du meilleur moment pour déterminer par calcul si le remplacement par une machine neuve plus efficace est rentable. Ceci varie considérablement en fonction du nombre d'heures d'utilisation de la machine et exige une attention particulière d'un spécialiste. À titre d'exemple, les pompes, ventilateurs et compresseurs non régulés peuvent utiliser une énergie plus importante, selon leur fréquence d'utilisation, en raison d'un glissement moindre et des vitesses plus élevées des moteurs à rendement énergétique. L'application peut être adaptée à une utilisation avec un convertisseur afin de régler ce problème, ou la turbine peut faire l'objet

d'un nouveau profilage. De nombreuses machines sont également particulières du fait des limites de dimension, ajustement, cycle de service, vitesse, couple, etc. Il convient également de tenir compte du temps d'arrêt inférieur potentiel et de l'empreinte carbone réduite liée à une réparation et à une réutilisation.

Les moteurs électriques sont généralement des convertisseurs d'énergie très efficaces et d'une très grande fiabilité. En grande partie, le gaspillage d'énergie et les pertes énergétiques se produisent souvent dans d'autres parties du système entraîné telles que les pompes, configurations de tuyauteries, boîtes à engrenages, ventilateurs et conduits associés, compresseurs, câblages, transmissions, etc. Il convient de considérer tous ces éléments comme un système complet lors de la recherche d'économies d'énergie.

4.6 Environnement, fin du cycle de vie et recyclage

Le traitement par un centre de maintenance d'une machine à la fin ou quasiment à la fin de son cycle de vie présente de nombreux avantages d'un point de vue environnemental, tout comme l'élimination définitive des machines remplacées. Lorsque des substances dangereuses (telles que de l'amiante, une carte de circuits imprimés, du plomb, etc.) sont identifiées, des mesures appropriées utilisant les meilleures pratiques doivent être adoptées afin de satisfaire aux exigences législatives concernant leur élimination et mise au rebut.

- a) L'analyse des défaillances de cause racine d'une machine défaillante peut identifier les problèmes de surcharge, contamination, défaut d'alignement, alimentation défaillante, application incorrecte, limites de conception ou contractuelles, etc., et augmenter de manière significative la durée de vie en service de la machine réparée, ou de toute nouvelle machine de remplacement.
- b) La faisabilité selon laquelle il convient de réparer ou de remplacer une machine peut être calculée par un atelier de service en tenant compte de son utilisation réelle, de la puissance consommée, du coût de réparation, du coût de remplacement et du délai de récupération.
- c) En cas de non-réparation d'un appareil arrivé à la fin de son cycle de vie, celui-ci peut être mis au rebut de la manière la plus rentable qui soit en évitant également qu'il soit disponible sur le marché d'occasion. Il convient de séparer l'appareil ancien en ses matériaux constitutifs pour recyclage, par exemple:
 - fil de cuivre sain ou brûlé;
 - fil de cuivre avec combinaison de matériau isolant et de vernis;
 - logements en aluminium moulé;
 - solides en acier: paliers, arbres;
 - fonte légère: logements, etc.;
 - résidus de déchets combinés.

Il convient que les composants remplacés lors d'une réparation, tels qu'un fil de cuivre et des paliers remplacés, fassent également l'objet d'un recyclage analogue. Hormis le vernis et le matériau isolant, l'industrie de réparation est capable de trier et de recycler environ 98 % d'une machine ancienne et des composants utilisés dans une réparation.

Lorsque le recyclage s'applique aux différents éléments du moteur, ces matériaux exigent un apport et un transport énergétiques minimaux avant réutilisation. En conséquence, ils sont plus «écologiques» et ont également une plus grande valeur.

4.7 Économie circulaire

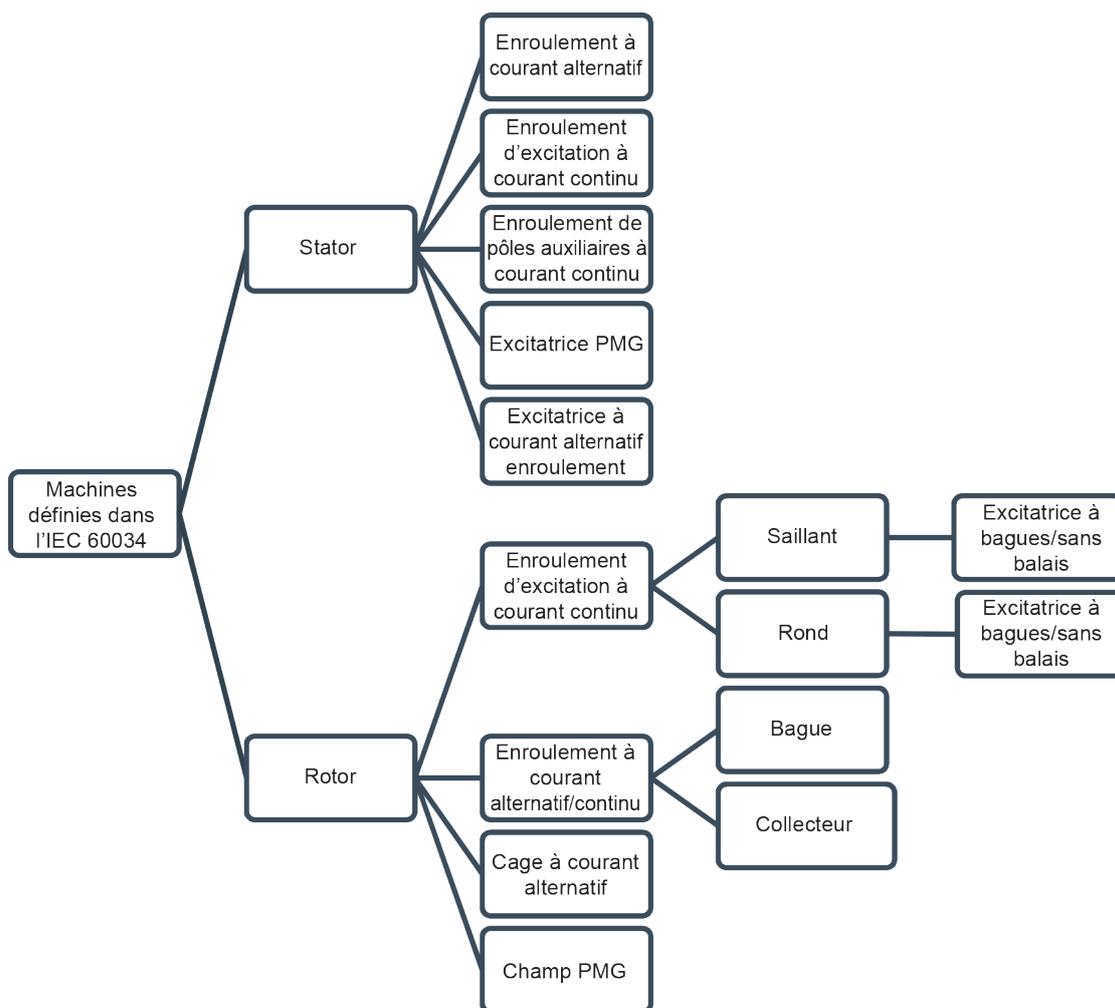
Le processus de réparation satisfait à tous les aspects de l'économie circulaire, doublant ou triplant la durée de vie active des machines électriques tournantes, ainsi que l'utilisation de leurs matériaux internes. Le marché des appareils électriques tournants a connu un processus d'adoption de machines à rendement énergétique plus élevé afin de réduire la puissance consommée, avec un objectif de normalisation sur les machines IE3 ou des machines équivalentes. La réparation/le reconditionnement des machines à rendement énergétique garantissent l'utilisation la plus rentable des ressources qui se raréfient à l'échelon mondial. La

réparation/l'entretien d'une machine de 110 kW type avec des paliers neufs permettent de doubler sa durée de vie effective et de maintenir 99 % de la machine d'origine. Les anciens paliers, qui constituent 1 % de la machine, sont recyclés comme déchets d'acier «écologiques» de haute qualité. Dans le cas d'une machine rebobinée, 90,5 % de celle-ci sont réutilisés lors de son reconditionnement. La totalité des matériaux utilisés lors d'un rebobinage est retournée comme déchets de cuivre et d'acier écologiques de haute qualité. Les seuls éléments non réutilisés ou recyclés lors d'une réparation sont le vernis, le matériau isolant, la peinture et le lubrifiant, qui représentent seulement 0,9 % du poids des matériaux présents dans une machine de 110 kW type.

5 Exigences générales concernant la réparation

5.1 Généralités

Le présent article couvre les aspects de la réparation, de la révision et du reconditionnement qui sont communs à toutes les machines électriques définies dans la série IEC 60034. Les paragraphes suivants traitent des exigences spécifiques concernant les différents types de machines. Conformément aux besoins de l'utilisateur et des ateliers locaux, les machines peuvent être réparées sur site, dans les locaux de l'atelier de service ou en un autre lieu. Les composants essentiels d'une machine sont le stator et le rotor tels que représentés ci-dessous, voir la Figure 1.



IEC

Figure 1 – Composants d'une machine électrique

5.2 Atelier de service

Il convient que l'utilisateur vérifie que l'atelier de service peut démontrer sa capacité à effectuer la réparation proposée. Cette vérification inclut les ateliers de réparation et de révision adaptés, l'appareil approprié nécessaire et des intervenants formés.

L'atelier de service doit être compétent dans les techniques et les technologies exigées pour la réparation de la machine d'origine et doit être en mesure de prévoir l'influence de la réparation sur la machine.

Des conditions de propreté sont extrêmement importantes lors du stockage et de l'assemblage des machines. Il convient que ces conditions soient appropriées au type de machine faisant l'objet d'une réparation. Ces conditions doivent être prévues et maintenues par les parties responsables.

Des précautions doivent être prises pour assurer une protection contre la contamination et la pénétration de matières étrangères lors du stockage de composants après démontage et au cours de la réparation. Il convient d'effectuer l'enroulement et l'assemblage final dans une zone sèche propre protégée contre toute entrée de corps étranger due à une opération de démontage, nettoyage ou usinage, à la présence de portes ouvertes ou à un mauvais entretien.

5.3 Étendue du travail

L'atelier de service doit effectuer une évaluation initiale de l'état de l'appareil et convenir avec l'utilisateur de l'étendue du travail à réaliser.

L'objet des essais initiaux et des contrôles visuels doit consister à déterminer et consigner l'état de l'appareil réceptionné, documenter les paramètres préalables au travail à effectuer et proposer un programme de travail.

Il est important de déterminer la «cause racine» en cas de défaillance avérée. L'origine du problème peut être extérieure à la machine.

Les machines doivent être réparées afin de générer des paramètres d'une qualité au moins aussi bonne, voire d'une qualité meilleure, que leurs paramètres de caractéristiques de fonctionnement d'origine, qui doivent être garantis au niveau exigé par l'utilisateur.

Lorsque tout travail peut entraîner une dégradation permanente du rendement ou des autres paramètres de caractéristiques de fonctionnement appropriés, l'approbation de l'utilisateur est exigée avant de poursuivre le processus.

5.4 Normes

Il convient que l'atelier de service utilise les normes essentielles suivantes pour vérifier les dimensions et les tolérances, ou des normes équivalentes utilisées dans la fabrication d'une machine. Les constructeurs utilisent les normes dans la conception de leurs machines. Il convient par ailleurs que les bonnes pratiques de réparation consistent à utiliser les normes correspondantes dans toute la mesure du possible pour vérifier la qualité de leur réparation:

Normes mécaniques:

Dimensions et puissance (carcasses 56 à 400)	IEC 60072-1
Dimensions et puissance (carcasses 355 à 1 000)	IEC 60072-2
Enveloppes (code IP)	IEC 60034-5
Modes de refroidissement (Code IC)	IEC 60034-6
Dispositions de montage (code IM)	IEC 60034-7
Marques d'extrémité	IEC 60034-8

Bruit	IEC 60034-9
Vibrations	IEC 6003-14

Essai électrique:

Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement	IEC 60034-1
Pertes et rendement	IEC 60034-2-1
Pertes et rendement de machines de grande taille	IEC 60034-2-2
Résistance d'isolement et index de polarisation	IEC 60034-27-4

Lorsque les machines sont fabriquées et soumises à l'essai conformément à d'autres normes, par exemple NEMA, il convient de faire référence à la norme NEMA correspondante.

Ces attributs doivent être maintenus jusqu'au niveau d'origine après réparation.

Une protection thermique incorporée et des détecteurs de température intégrés, conformément à l'IEC 60034-11, doivent être du même type et se situer aux mêmes emplacements que les appareils d'origine, sauf accord contraire.

5.5 Programme qualité

Un programme qualité qui a été convenu avec l'utilisateur, doit être suivi avant de commencer la réparation afin d'intégrer des procédures d'inspection, de diagnostic et d'essai appropriées. Le programme doit garantir que la réparation traite la cause racine de toute défaillance, si la machine en est à l'origine, et démontre que la machine est en mesure de présenter les caractéristiques de fonctionnement exigées après redressement. L'utilisateur et l'atelier de service doivent débattre des problèmes extérieurs à la machine susceptibles d'avoir occasionné la défaillance.

Les éléments appropriés des caractéristiques de fonctionnement et des procédures d'essai, les mesurages liés à la surveillance de l'état de la machine et les critères établis par éléments ci-dessous peuvent faciliter la réparation.

L'applicabilité de ces essais et outils de diagnostic dépend de la classe de machine ou de composant concernée. Il convient que les exigences de l'utilisateur soient convenues avec l'atelier de service, si nécessaire.

Les procédures et les essais convenus pour la machine applicable doivent être inclus dans le programme de qualité de réparation.

5.6 Informations fournies par l'utilisateur

5.6.1 Document de transfert de l'utilisateur

Il convient que l'utilisateur fournisse les informations demandées par l'atelier de service avant une réparation, sous la forme d'un document de transfert. Les informations exigées figurant sur la liste transmise varient en fonction de la taille et du type de machine. Les informations appropriées comprennent:

- a) l'environnement de fonctionnement, la température, les vibrations, etc.;
- b) les réparations, révisions et modifications précédentes;
- c) les exigences de rendement;
- d) la qualité d'alimentation, le déséquilibre de tension, les harmoniques du variateur, les bruits impulsifs de commutation;
- e) le type de matériel entraîné;
- f) les heures de fonctionnement;

- g) la charge active et réactive de la machine;
- h) la méthode et le cycle de démarrage, le nombre de démarrages, l'inertie, le temps d'accélération;
- i) les éléments auxiliaires montés tels que les thermistances, thermocouples, résistances, détecteurs de température;
- j) la tendance des paramètres de fiabilité essentiels, par exemple, résistance d'isolement;
- k) les synchronisations déphasées;
- l) la survitesse et d'autres conditions anormales de fonctionnement.

5.6.2 Environnement de fonctionnement

Si la machine fonctionne dans des conditions d'environnement sévères, il convient de n'utiliser aucune méthode ni aucun matériau de réparation qui rendent celle-ci plus vulnérable à ces conditions que celles en vigueur au moment de sa fabrication d'origine.

5.6.3 Fonctionnement en mode convertisseur/variateur

Si la machine est alimentée par convertisseur/variateur, des informations détaillées complètes de l'alimentation doivent être obtenues. De nombreuses applications désignées comme «cycle de variateur» impliquent des caractéristiques de conception spéciales telles qu'une isolation par fil de bobinage, des paliers isolés, et d'autres précautions visant à assurer un fonctionnement fiable.

5.6.4 Santé et sécurité

Il convient que l'utilisateur fournisse une déclaration de «travail en toute sécurité» stipulant que la machine ne contient aucun produit chimique dangereux, aucune poussière, bactérie ou autre substance dangereuse (par exemple, amiante).

5.7 Documentation

5.7.1 Enregistrements

Un nouvel enregistrement de chaque machine réceptionnée doit être établi au moment de la réception. Il convient qu'il comprenne (le cas échéant):

- a) les données de plaque signalétique;
- b) les données d'essai électrique avant et après réparation/reconditionnement;
- c) l'inspection mécanique et le mesurage avant et après réparation/reconditionnement;
- d) les données d'enroulement et de raccordement, avant et après un rebobinage;
- e) la liste des parties remplacées.

L'atelier de service doit conserver des enregistrements de tout le travail réalisé y compris les contrôles, mesurages et problèmes détectés, le mode de défaillance le cas échéant, les réparations et les essais finaux effectués.

Il convient que l'utilisateur dispose des enregistrements appropriés si cela est exigé.

Il convient de conserver les enregistrements pendant trois ans au minimum, ou comme convenu avec l'utilisateur ou spécifié dans d'autres réglementations ou normes nationales, par exemple, 10 ans pour les appareils utilisés dans une zone dangereuse.

5.7.2 Étiquettes et plaques signalétiques

Les plaques signalétiques d'origine doivent être maintenues sur la machine.

Il convient d'inscrire le nom ou le logo et le numéro de travail de l'atelier de réparation sur une étiquette adaptée ou de les estamper de manière indélébile à proximité de la plaque signalétique du constructeur.

Si la réparation entraîne des modifications fonctionnelles, une plaque signalétique supplémentaire conforme à l'IEC 60034-1 doit être prévue.

6 Machine assemblée: contrôle, essais et évaluation

6.1 Contrôle visuel

Le contrôle visuel préliminaire constitue une partie importante de la réparation de la machine complète. Il peut fournir des informations sur l'état général de la machine et/ou les raisons de sa défaillance. Il convient d'effectuer le contrôle avant et après l'évacuation de débris éventuels présents sur la machine. Il convient que le contrôle détermine si ces débris sont à l'origine de la défaillance. Il convient de remplir les enregistrements préalablement à tout travail de réparation effectué sur la machine et avant la prise de photographies numériques de composants endommagés ou manquants, de signes d'usure, de fissures, d'une surchauffe et d'un graissage insuffisant.

Les exemples de zones à examiner incluent:

- a) les données de plaque signalétique de la machine, les normes de rendement, les plaques signalétiques spéciales, par exemple, convertisseur, zone dangereuse, conditions de réparation spéciales et documents de transfert;
- b) les carcasses, flasques et couvercles de paliers pour les signes de fissures ou de corrosion;
- c) l'isolation pour les signes de vieillissement, l'activité de décharge partielle (enroulements statoriques haute tension), les abrasions ou la fissuration;
- d) les dommages occasionnés aux paquets statoriques, tels que les frottements du rotor, les tôles desserrées;
- e) le dommage, la déformation ou la décoloration des arbres;
- f) les boîtes à bornes et les presse-étoupes y compris les joints d'étanchéité;
- g) les ventilateurs de refroidissement, conduits, ailettes et couvercles, ou souffleries lorsqu'elles sont installées;
- h) les systèmes d'échangeurs thermiques (air-air, air-eau, etc.);
- i) les parties manquantes éventuelles, telles que les joints d'étanchéité.

Pour les machines avec couvercles d'accès, ou avec libre accès au stator ou au rotor, le contrôle visuel détaillé doit inclure l'état:

- du paquet statorique;
- de l'enroulement statorique et des développantes;
- du rotor.

Les photographies numériques fournissent un enregistrement précis du mode de réception de la machine. Ces éléments fournissent également un enregistrement visuel des défauts de composants significatifs éventuels constatés et indiquent à l'utilisateur le travail correctif exigé.

Il convient de consigner toutes les constatations afin d'assurer la mise à disposition d'une liste des mesures correctives entreprises pour le rapport final.

6.2 Essais avant démontage

6.2.1 Sécurité

Outre les éléments traités en 5.6.4, il convient de lever et de manipuler les machines à l'aide des anneaux de levage intégrés ou des bagues de levage fournies. En cas de doute concernant les points de levage installés, il convient d'utiliser d'autres méthodes telles que l'élingage.

6.2.2 Application

La machine étant toujours assemblée avant réparation, les essais électriques initiaux effectués peuvent identifier les défauts d'enroulement évidents. Ces essais peuvent détecter les courts-circuits, circuits ouverts, raccordements incorrects, raccordements à haute résistance et une mauvaise qualité d'isolation. La sélection suivante couvre les principaux essais à ce stade.

6.3 Essais d'enroulement statorique ou rotorique

6.3.1 Mesure de résistance des enroulements

Une mesure de résistance ohmique entre les bornes de raccordements isolés de chaque enroulement peut identifier les spires en court-circuit, les mauvais raccordements, les raccordements erronés et les circuits ouverts. La résistance chute rapidement proportionnellement à l'augmentation de taille des machines et exige l'utilisation d'une méthode de mesure spécifique et exacte à l'aide d'un ohmmètre ou d'un milliohmètre. Il convient que tout déséquilibre résistif se situe dans les limites de tolérance définies. Il convient que la température des enroulements soit stable et que les valeurs lues soient corrigées selon une température de référence.

6.3.2 Essai d'équilibre des phases

Il convient de comparer les résistances de chaque phase, ou les résistances entre phases par application au stator déconnecté d'une tension réduite correspondant environ à 15 % de la tension assignée, afin d'obtenir le courant assigné approché du moteur. Il convient de comparer les résultats et tout déséquilibre significatif doit être analysé. Il convient que les critères soient conformes aux spécifications du constructeur. Généralement, il convient que la résistance de chaque enroulement soit équivalente à 1 % près pour les bobines préformées ou à 3 % près pour les bobines à enroulements à fils jetés.

6.3.3 Mesure de résistance d'isolement

La mesure de résistance d'isolement est décrite de manière exhaustive dans l'IEC 60034-27-4 (voir Tableau 1). Il convient de mesurer la résistance d'isolement au moyen d'un mégohmmètre qui enregistre les valeurs d'essai, la correction en température s'effectuant selon la norme ci-dessus. Les mesurages doivent être effectués pour un enroulement complet: entre tous les enroulements et la terre, entre les enroulements en cas de bobinage multiple, entre les enroulements et les auxiliaires, et entre les auxiliaires et la terre en utilisant un mégohmmètre à courant continu pendant 1 min.

La résistance d'isolement varie de manière considérable avec la température, l'humidité et la contamination. Pour établir une tendance, il convient de corriger en température les résistances d'isolement selon une température de référence (normalement 40 °C). Les valeurs de résistance d'isolement minimales acceptables corrigées à 40 °C dépendent de la tension assignée, de la température et du type d'appareil. Ces valeurs dépendent également du fait de savoir si l'enroulement est un enroulement réparé ou un rebobinage (partiel ou complet). Les valeurs suivantes sont les valeurs minimales recommandées pour un essai de tension de tenue ou un essai de surtension, ou pour un fonctionnement en cas d'essai d'enroulements imprégnés complets (voir Tableau 1).

- a) 5 M Ω pour les enroulements préformés à fils jetés basse tension et les induits à courant continu;

- b) 100 MΩ pour les systèmes d'isolation à la résine synthétique haute tension (enroulements préformés);
- c) tension assignée (kV) + 1 pour les systèmes d'isolation à la gomme-laque et à l'asphalte haute tension et tous les enroulements d'excitation.

Il convient que la résistance d'isolement minimale d'une phase d'un enroulement triphasé, soumis à l'essai avec les deux autres phases à la terre, soit au moins égale au double de celle de l'enroulement complet. Il convient que le temps de mise à la terre soit au moins égal à quatre fois le temps de chargement. Lorsque chaque phase est soumise à l'essai séparément et des circuits de protection sont utilisés sur les deux phases non soumises à l'essai, il convient que la résistance minimale soit égale à trois fois l'enroulement complet.

Lorsque tous les enroulements de phases sont raccordés ensemble, l'essai à la terre de l'enroulement complet nécessite de réduire les courants de fuite et les courants de revêtement de protection antieffluves dus aux contraintes appliquées à la développante, étant donné que des courants inférieurs circulent dans les autres enroulements de phases. Par conséquent, il peut être envisagé que le PI est supérieur, par comparaison avec un essai individuel des enroulements de phase. Le même principe est valable pour l'IR étant donné que l'enroulement complet a une résistance plus élevée par comparaison avec les valeurs obtenues à partir de la somme des essais des enroulements monophasés, lors du calcul de l'IR des mesurages des enroulements monophasés.

Lorsque la valeur lue n'est pas acceptable, il convient alors de ne pas effectuer d'essais supplémentaires (c'est-à-dire essais de tension de tenue (essais sous tension élevée) ou de surtension) susceptibles de soumettre l'enroulement à une défaillance. Il convient d'appliquer des mesures correctives telles que le nettoyage et l'étuvage afin d'augmenter la valeur de résistance d'isolement à un niveau acceptable.

La déconnexion effective des composants électriques ou électroniques normalement connectés aux enroulements, tels que des régulateurs de tension automatiques (AVR en anglais) montés sur des génératrices, et de l'instrumentation doit faire l'objet d'une attention particulière.

Tableau 1 – Valeurs minimales recommandées de résistance d'isolement à une température de référence de 40 °C (norme de référence IEC 60034-27-4)

Enroulements d'essai	Résistance d'isolement minimale R_{11} MΩ
Systèmes d'isolation à la gomme-laque et à l'asphalte haute tension et tous les enroulements d'excitation	tension assignée (kV)+1
Systèmes d'isolation à la résine synthétique haute tension (enroulements préformés)	100
Enroulements préformés à fils jetés basse tension et induits à courant continu	5
R_{11} est la valeur de résistance d'isolement minimale recommandée en MΩ d'un enroulement complet de la machine, corrigée à la température de base de 40 °C kV est la tension entre phases de la machine en kV efficaces.	

6.3.4 Mesure de l'index de polarisation

La mesure de l'index de polarisation (PI – *polarization index*) est décrite de manière exhaustive dans l'IEC 60034-27-4. Il convient de l'effectuer au moyen d'un mégohmmètre et avec les mêmes tensions que celles données dans le Tableau 2 pendant 10 min. Il convient que l'index de polarisation minimal pour les enroulements assignés de classe d'isolation 130 (B) ou supérieure soit de 2,0.

Si la valeur lue pour la résistance d'isolement est supérieure à 5 000 MΩ après 1 min, le calcul PI peut devenir non fiable et ne pas être pris en compte.

La détermination de l'index de polarisation peut ne pas s'appliquer aux petites machines à enroulements à fils jetés, à enroulements d'excitation des rotors de génératrices, à enroulements rotoriques d'excitation et de cage d'écureuil coulée ou brasée non isolée, et aux induits de machines à courant continu.

Tableau 2 – Guide pour l'application des tensions continues pour la mesure de résistance d'isolement et d'index de polarisation

Tension alternative assignée des enroulements: Tension entre phases pour les machines triphasées. Tension phase-terre pour les machines monophasées. Tension continue pour les machines à courant continu ou les enroulements d'excitation V	Tension continue pour mesures de résistance d'isolement V
Jusqu'à 1 000	500
1 000 à 2 500	500 à 1 000
2 501 à 5 000	1 000 à 2 500
5 001 à 12 000	2 500 à 5 000
Au-delà de 12 000	5 000 à 10 000

Les essais peuvent être réalisés à une amplitude supérieure uniquement par accord entre le fournisseur de services d'essai et le client.

6.3.5 Essai à vide

Si un essai à vide est exigé avant toute révision, se reporter à 9.4. Il convient de faire fonctionner à vide les machines entièrement assemblées uniquement lorsque toutes les mesures statiques et le contrôle visuel été effectués, afin de déterminer si la machine peut fonctionner en toute sécurité.

Un bruit significatif et des vibrations importantes peuvent indiquer des problèmes d'équilibre, ainsi que la présence de frottements, de résonances, d'une patte mal fixée ou de composants desserrés.

Les mesurages du niveau de bruit et les analyses de vibrations spectrales peuvent renseigner sur le type de défaut, tel que l'endommagement des paliers, la rupture des barres de rotor, etc.

6.4 Arbre et paliers

6.4.1 Vérifications des arbres

L'état des arbres doit être vérifié pour déceler toute usure ou rectitude, ou tout rainurage et dommage de la rainure de clavette. Voir Tableau B.2.

6.4.2 Vérifications des paliers

La rotation manuelle de l'arbre peut poser des problèmes avec les paliers. Une action dure ou maladroite peut endommager les paliers, en raison par exemple:

- a) d'un graissage inadéquat;
- b) de la fatigue des paliers;
- c) de vibrations;
- d) d'un alignement ou d'une installation incorrects;

- e) des courants d'arbre;
- f) d'une charge insuffisante;
- g) d'une surcharge;
- h) d'une contamination par l'humidité ou des matières étrangères.

6.4.3 Résistance d'isolement des paliers

Le cas échéant et si elle est mesurable, il convient de vérifier la résistance d'isolement des paliers, accouplements, socles et dispositifs d'étanchéité d'arbres isolés et de la vérifier par rapport aux données du constructeur.

6.5 Intégrité de la cage de rotor

6.5.1 Généralités

Lorsque dans une machine sont suspectées des barres cassées ou une cage endommagée, il convient d'effectuer soit une analyse harmonique du courant du stator et des signaux de vibration en charge, soit un essai monophasé.

6.5.2 Analyse de signature du courant (Analyse harmonique)

La présence de composantes harmoniques (dans le courant du stator et/ou les signaux de vibration) qui diffèrent selon une valeur égale au double de la fréquence de glissement par rapport à la composante principale peut indiquer une rupture des barres ou de la cage des enroulements (voir ISO 20958).

6.5.3 Méthode de l'essai monophasé

Déconnecter le moteur de l'alimentation. L'essai est effectué par raccordement d'une alimentation monophasée basse tension à deux conducteurs quelconques des enroulements statoriques. Le maintien du courant d'essai à un niveau proche du courant assigné permet la rotation manuelle du rotor. Il convient qu'une tension d'alimentation comprise entre 1/8 et 1/4 de la tension assignée fournisse un courant d'essai compris entre 75 % et 125 % du courant assigné du moteur. Il convient d'analyser toute variation du courant de plus de 3 % entre la valeur de courant maximale et la valeur de courant minimale, qui peut indiquer un circuit ouvert au rotor.

6.5.4 Essai de chute des pôles – Rotor à pôles saillants (moteur ou génératrice)

Une tension alternative est appliquée aux enroulements d'excitation afin d'identifier les spires en court-circuit avec le rotor en position fixe. L'essai de chute des pôles ne permet pas d'identifier les spires en court-circuit provoquées par des forces centrifuges en cours de fonctionnement. Il convient que les valeurs lues équilibrées aient une tolérance de 10 % par rapport aux valeurs lues moyennes. Le suivi de la chute de courant continu (dans l'essai de coupure d'excitation) peut être utilisé si les résultats d'essai à courant alternatif ne sont pas satisfaisants, en appliquant une tolérance recommandée de 5 % par rapport aux valeurs lues moyennes pour l'essai à courant continu.

7 Machine démontée: contrôle, essais et évaluation

7.1 Généralités

Lorsque le contrôle de la machine assemblée indique qu'une analyse supplémentaire est exigée pour déterminer l'étendue des réparations ou du reconditionnement, il convient de démonter la machine.

Des repères de fixation clairs doivent être apposés sur les supports d'extrémité et les carcasses. Les composants de la machine doivent être marqués ou identifiés lors du désassemblage. Les boulons et les petites pièces doivent être stockés dans des conteneurs

dédiés portant un numéro d'identification. Les composants ou les ensembles désassemblés doivent être soigneusement stockés afin d'éviter tout dommage ou toute détérioration dans un environnement sec et propre.

Les contrôles et essais suivants sont des contrôles et essais complémentaires pour les différents types de machines exigés sur lesquels il convient que tous les partenaires contractuels s'accordent.

7.2 Nettoyage

Consigner ou photographier les débris éventuels qui peuvent être à l'origine de la défaillance de la machine. Il convient d'examiner les débris pour une analyse de cause racine.

Le manuel d'utilisation de la machine recommande généralement des méthodes de nettoyage adaptées. Il convient de nettoyer les enroulements et les composants afin de maintenir un bon état de l'isolation et toutes les parties sans corrosion. Il convient de retirer la saleté, la graisse, l'huile et les autres contaminants au moyen de méthodes appropriées qui n'endommagent pas la machine, telles que le lavage à pression, le nettoyage à la vapeur, l'application d'un solvant, l'emploi de glace carbonique, etc.

Il convient d'effectuer le nettoyage et le démontage dans une zone confinée afin de garantir l'absence de toute transmission de contamination par la poussière, la saleté ou une pulvérisation à la zone d'assemblage de la machine.

7.3 Contrôle visuel

Il convient que ce contrôle prouve l'absence de:

- a) contournements, courts-circuits, cheminement électrique, effet couronne ou points chauds;
- b) claquage par surtension;
- c) détérioration des cales des encoches, en particulier dans les cales composites et magnétiques;
- d) perte de l'intégrité d'isolation des connecteurs de bobinage, des conducteurs et des bornes;
- e) traces de frottement du rotor au niveau du stator;
- f) desserrement ou détérioration des têtes de bobines;
- g) oxydation des surfaces métalliques.

7.4 Entrefer

Il convient que l'entrefer soit concentrique. Les excentricités éventuelles peuvent provoquer un déséquilibre d'attraction magnétique du rotor, ce qui entraîne un niveau de bruit, des vibrations et des pertes plus importants. Il convient que l'entrefer soit uniforme et équivalant à 10 % de l'entrefer moyen pour les machines à induction plus petites; 5 % pour les machines à deux pôles et les machines synchrones plus grandes, ou comparé aux données du constructeur ou à une valeur connue initiale.

7.5 Ventilation

Pour assurer une ventilation à rendement énergétique correcte, il convient de vérifier les éléments suivants afin de garantir qu'ils peuvent fonctionner conformément à leur spécification:

- a) les couvercles, ailettes, et leurs accessoires;
- b) les ventilateurs, internes et externes;
- c) les souffleries auxiliaires;
- d) les canalisations (les restrictions peuvent entraîner une surchauffe);
- e) l'absence de traces d'érosion des joints d'étanchéité sur les échangeurs thermiques;

- f) les ventilateurs non normalisés peuvent affecter le refroidissement et le rendement de la machine.

7.6 Stator

Il convient de contrôler l'enroulement pour déterminer les schémas de défaillance, par exemple, fonctionnement monophasé, claquage par surtension, phase en court-circuit, spires en court-circuit, modes induits de défaillance du variateur (mise à la terre ou surcharge). Il convient de terminer les essais éventuels portant sur les enroulements non effectués avec la machine assemblée (voir 6.2). Il convient de vérifier le paquet statorique pour déceler:

- a) tout desserrement dans les supports et dans le dispositif de ficelage des têtes de bobines ou la présence de toute poudre abrasive, en recourant à une endoscopie si cela est exigé;
- b) toute brûlure, fissuration, migration ou fragilité de l'isolation, ou le signe de toute activité de décharge partielle;
- c) les cales d'encoches ou de calage latéral du stator desserrées ou endommagées;
- d) toute contamination superficielle due à l'huile, la poussière ou l'humidité;
- e) toute obturation des torons de cuivre creux (pour les enroulements à refroidissement direct par l'eau);
- f) tout dommage causé aux accessoires tels que les thermistances, radiateurs, détecteurs de température (RTD et thermocouples), et au câblage associé;
- g) la présence de tôles, entretoises de ventilation ou doigts de peigne desserrés ou défectueux;
- h) toute brûlure due à une isolation entre tôles en court-circuit;
- i) tout endommagement du paquet de tôles statoriques de l'alésage dû au contact avec le rotor ou à des chocs avec des composants desserrés;
- j) toute corrosion des tôles du paquet ou entre les tôles du paquet de tôle, si les tôles du paquet du rotor peuvent être démontées;
- k) toute brûlure ou toute corrosion aux interfaces entre les queues d'aronde des tôles du paquet et les barres de support du paquet;
- l) Il convient de vérifier l'intégrité de la résistance d'isolement des vis isolées qui traversent le paquet;
- m) l'obstruction des conduits de gaz de refroidissement due à la contamination;
- n) la preuve de la présence de poussières en vrac, de filigranes ou de rouille, dus à la pénétration d'eau ou à la condensation, qui peuvent avoir contribué à la défaillance;
- o) le desserrement du bloc stator dans la carcasse;
- p) l'absence de concentricité entre l'alésage du paquet statorique et l'emboîtement (feuillure) pour le montage des supports de paliers sur la carcasse du stator.

7.7 Rotor

7.7.1 Généralités

Il convient de retirer le rotor en appliquant les mesures de sécurité au travail imposées par son poids et sa taille. L'opération de retrait doit faire l'objet d'une attention particulière pour éviter d'endommager les surfaces de l'entrefer ou les enroulements. Aucun frottement du rotor le long de la surface du stator ne doit être admis lors du retrait. Il convient d'utiliser un outil de retrait du rotor si nécessaire. Il convient de vérifier les éléments suivants:

- a) Le nombre total de faux-ronds indiqués du bout d'arbre du rotor, des tourillons de paliers ou des surfaces de fixation, ainsi que des surfaces de joints étanches (voir Tableaux B.1, B.3, B.4 et B.5).
- b) Il convient que le diamètre extérieur du rotor soit concentrique aux tourillons de paliers ou les surfaces de fixation.

- c) Il convient de noter la position exacte des rondelles à poussée axiale éventuelles lors du démontage du rotor.
- d) Il convient que l'exactitude et les tolérances des réparations ou de l'usinage précédents éventuels du rotor fassent l'objet d'une vérification.
- e) Il convient de vérifier tout contact entre le stator et le rotor. Il convient d'examiner les points chauds possibles des tôles.
- f) Il convient de vérifier l'étanchéité des cales d'encoches (le cas échéant).
- g) Il convient de vérifier l'arbre, les ventilateurs du gaz de refroidissement et les autres fixations à l'arbre du rotor afin de déceler toutes fissures et de contrôler la résistance du raccordement à l'arbre.
- h) Il convient de vérifier l'arbre pour déceler toute rectitude ou usure, ainsi que toutes fissures, et pour constater l'absence d'endommagement des bouts d'arbre.
- i) Noter l'orientation de l'arbre par rapport à la boîte à bornes principale et aux conducteurs.
- j) Pour les machines à courant continu, se reporter à 10.5.

7.7.2 Retrait du rotor: Machines verticales

Il convient de manipuler et de démonter les machines verticales conformément aux instructions ou aux mesures de sécurité au travail du constructeur. Il convient d'évaluer correctement les éléments à prendre en considération concernant la sécurité de levage, tels que le centre de gravité, les points de levage, etc., tout comme il convient de mettre en œuvre les procédures appropriées.

Le constructeur prévoit généralement des installations de levage uniquement pour la machine, mais il peut prévoir des installations de levage spéciales pour les rotors verticaux de grande taille.

Il convient d'enregistrer les éléments suivants afin d'assurer la remise en état correcte de la machine:

- levage du rotor (jeu axial);
- types de paliers;
- orientation, alignement et méthode de fixation particuliers des paliers, le cas échéant.

7.7.3 Rotor à cage

Il convient que le paquet du rotor soit correctement ajusté sur l'arbre, le coussinet ou le croisillon sur lequel est assemblé le paquet. Il convient de vérifier le diamètre extérieur du paquet du rotor pour déceler les frottements, dommages mécaniques et autres pièces manquantes, ainsi que toute brûlure due à une isolation de fils en court-circuit. Il convient de soumettre les barres et les bagues d'extrémité à un contrôle d'intégrité qui peut comprendre les essais facultatifs suivants:

- a) Essai au grognard visant à vérifier le circuit magnétique autour des barres du rotor. La forme du signal peut révéler la rupture de certaines barres ou la présence de défauts dans un rotor coulé;
- b) Essai de compression visant à contrôler l'étanchéité des barres de rotor soudées dans leurs encoches;
- c) Vérification de l'anneau de retenue du rotor (le cas échéant) pour déceler les fissures éventuelles;
- d) Vérification des cales d'encoches du rotor (le cas échéant) pour déceler les fissures éventuelles.

7.7.4 Enroulements de rotor bobiné cylindrique

Les essais recommandés comprennent les éléments suivants:

- a) la résistance d'isolement à la terre et entre phases, dans la mesure du possible;
- b) l'essai de comparaison des surtensions visant à confirmer la symétrie de l'enroulement;
- c) le contrôle du frettage de la développante pour déceler les fissures et le desserrement éventuels;
- d) les connexions entre les bornes d'enroulement et les bagues;
- e) Le passage d'un courant alternatif ou continu élevé dans l'enroulement permet aux points froids éventuels détectés par une caméra d'imagerie thermique d'indiquer la présence de barres de rotor cassées ou fissurées.

7.7.5 Machines à aimants permanents (PM – *permanent magnet*): Retrait du rotor

Il convient de retirer et de réinstaller avec la plus grande attention le rotor d'une machine à aimants permanents (PM). Il convient que cette opération soit effectuée uniquement par des opérateurs parfaitement formés utilisant les équipements et les procédures corrects afin de garantir un retrait et une remise en place en toute sécurité.

7.7.6 Rotor à pôles saillants

Il convient de contrôler les pôles massifs pour déceler les boulons desserrés des cornes polaires, ainsi que les fissures, frottements, surchauffes et dommages mécaniques éventuels.

Il convient de contrôler le rotor pour:

- a) la présence éventuelle de pièces constitutives des pôles desserrées, et la preuve de la présence de la formation de graisse due au déplacement des pôles;
- b) déceler les connecteurs fissurés;
- c) déceler les tôles endommagées des pièces constitutives des pôles;
- d) les signes éventuels de dommage localisé dû à une surchauffe ou à des défauts entre spires;
- e) constater la déformation éventuelle de la face de la pièce polaire ou de la face de la jante du rotor;
- f) l'intégrité de l'isolation des bobines de champs y compris les rondelles;
- g) l'étanchéité et l'intégrité des vis, boulons ou autre dispositif de retenue des pôles;
- h) l'intégrité des blocs pôle/pôle auxiliaire, ainsi que de l'isolation, des boulons ou autre dispositif associé à ces blocs.

7.7.7 Rotors massifs cylindriques

Les vérifications supplémentaires suivantes concernant les rotors massifs cylindriques des turbogénérateurs et des moteurs synchrones à grande vitesse à deux pôles peuvent être effectuées avec l'accord du client:

- a) Il convient de vérifier les dents, cales d'encoches et anneaux de retenue du rotor pour déceler les fissures éventuelles, au moyen d'un essai par ultrasons ou d'un équipement d'essai magnétoscopique.
- b) Il convient de vérifier la présence éventuelle de fissures sur l'arbre du rotor par endoscopie si cela est exigé, au moyen d'un essai par ultrasons, d'un équipement d'essai magnétoscopique, par ressuage ou à courants de Foucault.
- c) Il convient de vérifier les développantes et la surface sous les anneaux de retenue pour déceler les fissures éventuelles et l'endommagement de l'isolation, ainsi que préserver la résistance intégrée. Il convient que la résistance des enroulements isolés se situe dans les limites acceptables.
- d) Vérifier le mouvement des bobines, le support de blocage/rigidité mécanique afin de détecter toute fissuration ou tout mouvement éventuels, et examiner les connexions de croisement et l'amenée de courant par endoscopie si cela est exigé.

7.8 Bagues

Pour un fonctionnement mécanique et électrique correct, il convient de confirmer les caractéristiques suivantes:

- a) dimensions;
- b) aspect et patine de la surface des bagues;
- c) brûlure;
- d) flettagé;
- e) faux-rond des bagues;
- f) rugosité;
- g) contaminants;
- h) résistance d'isolement entre les phases et par rapport à la terre.

7.9 Balais et porte-balais

Il convient de vérifier les caractéristiques mécaniques et électriques supplémentaires suivantes des bagues des rotors bobinés par rapport aux valeurs recommandées pour assurer un captage correct du courant:

- a) il convient que les porte-balais soient propres et exempts de saletés ou d'huile. Il convient de dégager toutes les parties mobiles;
- b) il convient que le jeu entre le porte-balais et la bague soit compris entre 1,5 mm et 3 mm selon la taille de la machine. Il convient que les spécifications du constructeur s'appliquent;
- c) il convient de vérifier la pression des ressorts conformément aux spécifications du constructeur pour le type d'application et de balais et de la régler si cela est exigé pour fournir la pression appropriée;
- d) il convient de déterminer la pression des balais sur la base de la tension des ressorts, ainsi que de la surface et du poids des balais;
- e) les qualités de balais sont identiques et conformes aux recommandations du constructeur;
- f) usure des balais, et position des balais de petite taille;
- g) un carré indiquant les dimensions en mètres et un triangle indiquant les dimensions en pouces peuvent être apposés sur les balais et les porte-balais. Des balais de remplacement avec des dimensions en pouces installés sur des porte-balais avec des dimensions en mètres, ou inversement, peuvent engendrer des problèmes dus à un ajustage incorrect sur le porte-balais;
- h) il convient de vérifier le jeu des balais dans le porte-balais par rapport aux valeurs recommandées conformément à l'IEC 60136. Un jeu excessif exige de remplacer un balai ou la gaine de porte-balais (voir 10.4.2, Tableau 5);
- i) il convient que l'isolation des tiges de balais ne soit pas carbonisée, fissurée ou endommagée;
- j) il convient de soumettre les porte-balais et les cavaliers à un essai d'isolation à la tension d'essai recommandée.

7.10 Paliers à éléments roulants

Il convient que les paliers de remplacement soient équivalents aux spécifications d'origine du constructeur, ou qu'ils correspondent à la dimension, au type, aux jeux et à la classe de précision exacts, avec un ajustage approprié au palier. Des paliers équivalents à rendement énergétique permettent de réduire les pertes par frottement des paliers. Il convient que tout ajustage de palier qui ne se situe pas dans les limites de tolérance soit remis en conformité avec la spécification d'origine du constructeur des paliers ou de la machine. Il convient d'effectuer les vérifications suivantes:

- a) Il convient de vérifier les ajustages des paliers sur les arbres et dans les logements. Il convient que ces ajustages soient conformes aux tolérances recommandées.

- b) Il convient également de vérifier l'ajustage des logements de paliers. De même, il convient que cet ajustage soit conforme aux tolérances recommandées.
- c) Il convient de vérifier l'orientation des paliers de butée à éléments roulants afin de confirmer qu'elle est identique à celle indiquée par le constructeur.
- d) Il convient de décontaminer et de dégager les passages de graisse et les canalisations. Il convient, lors de la réparation, de remplir les paliers ouverts avec la quantité et le type de graisse spécifiés par le constructeur de paliers. Un graissage excessif augmente les pertes dans les paliers et réduit le rendement. Une quantité excessive de graisse pénétrant dans l'enveloppe peut générer des problèmes d'isolation et de commutation.
- e) Il convient de vérifier la résistance d'isolement des paliers isolés afin de garantir que son niveau est acceptable. La résistance d'isolement doit être supérieure à 1,0 MΩ si elle est vérifiée par essai à 500 V.
- f) Il convient d'examiner les paliers pour déceler tout dommage dû à des courants parasites de paliers, ou toute formation de cannelures provoquée par une décharge électrique d'un convertisseur ou une mise à la terre inappropriée.
- g) Il convient de vérifier la résistance d'isolement des accouplements, socles et dispositifs d'étanchéité d'arbres à leurs points d'isolation.

7.11 Paliers à coussinets

- a) Il convient que les jeux relatifs à l'ajustage dans le logement et le diamètre de palier satisfassent aux tolérances d'origine du constructeur.
- b) Il convient de vérifier tout endommagement éventuel de l'alliage antifriction, ainsi que le défaut d'alignement éventuel des tourillons palier-arbre.
- c) Il convient que les bagues de lubrification soient de forme arrondie et, si elles sont constituées de deux moitiés, il convient de vérifier l'intégrité des joints à vis. Il convient que les dispositifs de retenue et les voyants soient propres. Par ailleurs, il convient de les contrôler et de les remplacer si nécessaire.
- d) Il convient de contrôler les patins oscillants, patins de paliers de butée et patins d'arbres afin de constater tout endommagement éventuel de l'alliage antifriction (usure, formation de cannelures, corrosion, givrage, éraflure et autres défauts susceptibles de faire partie intégrante d'une analyse de défaillance).
- e) Il convient de vérifier la résistance d'isolement des paliers isolés afin de garantir que son niveau est acceptable. La résistance d'isolement doit être supérieure à 1,0 MΩ si elle est vérifiée par essai à 500 V.
- f) Il convient d'examiner les paliers pour déceler tout dommage dû à des courants parasites de paliers, ou toute formation de cannelures provoquée, par exemple, par une décharge électrique d'un convertisseur ou une mise à la terre inappropriée.
- g) Il convient de vérifier la résistance d'isolement des accouplements, socles et dispositifs d'étanchéité d'arbres s'ils sont isolés.

7.12 Dispositifs d'étanchéité et joints à labyrinthe

Il convient de définir le jeu selon les spécifications du constructeur des appareils.

8 Réparation

8.1 Contrôle des enroulements

- a) Le schéma et la coloration de toute défaillance des enroulements constituent une indication de la cause de défaillance d'une machine et une partie de toute analyse des défaillances de cause racine. Il convient de conserver un enregistrement ou une preuve photographique de tout schéma de défaillance.
- b) L'atelier de service doit, avant de retirer les enroulements, produire un diagramme de l'enroulement existant qui présente les regroupements de bobines, la configuration parallèles/phase, les connexions de phases et les emplacements de détecteurs de

température. Des zones présentant des signes de contrainte ou de défaillance peuvent être ajoutées au diagramme pour faciliter l'analyse de cause racine.

- c) Il convient de mesurer les dimensions bobine/barre et de les enregistrer avant retrait. Après retrait des enroulements, enregistrer les dimensions des fils de conducteurs d'encoches, de bobines ou de barres, le ou les pas de bobinage, les types d'isolation et le rapport spires/bobine.
- d) Il convient de vérifier l'exactitude des données d'enroulement mesurées ci-dessus; ces données constituent la base de reproduction de l'enroulement d'origine. Il convient que l'enroulement complet soit au moins d'aussi bonne qualité, voire de qualité meilleure, que l'enroulement d'origine. Il convient que la section du fil soit au moins égale à la spécification d'origine du constructeur. Une augmentation de la section accroît le rendement de la machine.

8.2 Contrôle du rotor

Ce contrôle ne suit pas une procédure particulière.

- a) Il convient également d'effectuer un essai de perte dans le rotor ou un essai en boucle en cas de frottement avéré du rotor dû à une défaillance des paliers, une surcharge radiale excessive, un dommage occasionné par un défaut à la terre, à la corrosion ou une détérioration possible par vieillissement de l'isolation des plaques de rotors. Contrôle par flux complet 1,32 Tesla (50 Hz), ou 85 000 lignes par pouce carré (60 Hz). Une valeur supérieure à 12 W/Kg (50 Hz) ou 10 W/Kg (60 Hz) nécessite une action corrective pour réduire les pertes totales dans le rotor.
- b) La limite de température des points chauds applicable à un contrôle par flux complet sur le rotor d'une machine correspond à une augmentation de température > 10 K (ou plus par accord). Cette valeur est désignée comme la tension axiale induite assignée (ou flux). Une réparation est exigée pour des points chauds > 10 K. Toutes les zones du rotor identifiées avec des points chauds doivent être réparées ou faire l'objet d'une nouvelle isolation. De nouvelles tôles doivent être mises en place ou un nouveau bloc rotor doit être installé.
- c) Le démontage et le réempilage des rotors par réutilisation des tôles existantes ou installation de tôles neuves peuvent s'avérer nécessaires. En cas de réutilisation des tôles existantes, les tôles endommagées doivent faire l'objet d'une nouvelle isolation. Lors de l'utilisation de tôles neuves, il peut être possible de réduire les pertes en fer au moyen des tôles magnétiques de perte inférieure et en optimisant la conception pratique du stator pour un rendement supplémentaire. Les aciers de perte inférieure peuvent augmenter le courant d'excitation.
- d) L'étanchéité des piles de plaques de rotor et l'irrégularité des encoches doivent se situer dans les limites acceptables, et l'axe du bloc rotor ne doit pas être déplacé par rapport au stator, en cas de remplacement du rotor.
- e) Lorsque les surfaces d'entrefer des tôles ne sont pas régulières, ou graissées par dommage mécanique, une réparation du dommage par gravure ou meulage minutieux peut être possible. Il convient de ne pas soumettre le rotor à un meulage et un limage excessifs. Il est nécessaire de veiller à ce que cette opération n'augmente pas les pertes supplémentaires et n'affecte pas le rendement de la machine.
- f) En cas d'utilisation d'un four à pyrolyse ou à surchauffe pour la carbonisation de l'isolation des enroulements avant extraction, il convient de contrôler attentivement la température appliquée afin de protéger les caractéristiques électriques et d'isolation des tôles magnétiques. Il convient de placer les machines horizontalement dans le four afin d'éviter tout dommage dû à un effet de cheminée. L'application d'une chaleur non régulée sur un bloc stator ou l'utilisation d'une lance thermique n'est pas recommandée. Une température du four à surchauffe comprise entre 360 °C et 370 °C convient pour la plupart des tôles magnétiques modernes et l'isolation entre tôles. Une température jusqu'à 400 °C est acceptable avec les machines dont l'isolation entre tôles inorganiques est de grande qualité (identifiée comme revêtement ec5, ec6 ou de catégorie supérieure conformément à l'IEC 60404-1-1). En cas de doute, il convient d'avoir accès aux recommandations du constructeur concernant les limitations éventuelles des procédures de surchauffe. Il convient d'accorder une attention toute particulière au profil de température/temps approprié à l'isolation organique ou oxydique de la plaque de rotor.

- g) Il convient également de vérifier la comparaison des valeurs lues pour les pertes dans le rotor avant et après surchauffe. Une augmentation de plus de 20 % des pertes dans le rotor doit exiger une mesure corrective pour la réduire.
- h) Il convient de disposer d'un système de suppression contrôlée d'eau, de vapeur ou de gaz inerte afin d'atténuer toute surchauffe provoquée par la combustion des matériaux isolants.
- i) Il convient de conserver un enregistrement des limites de température de surchauffe du rotor, du mode de mesure de la température et de l'emplacement du capteur de température par rapport à l'appareil surchauffé.
- j) Il convient de retirer les enroulements de manière à ne pas endommager les tôles. Il convient d'accorder une attention particulière à la découpe de l'extension de la bobine (généralement celle face à l'extrémité de raccordement) ou à l'extraction des enroulements hors des encoches.
- k) Il convient que les encoches du rotor soient propres et exemptes de débris et autres arêtes vives avant de remplacer les enroulements.

8.3 Rebobinage

8.3.1 Généralités

Le rotor, les conduits de ventilation et la carcasse doivent être nettoyés, contrôlés et protégés contre la corrosion, si cela est exigé, préalablement à un rebobinage et un assemblage, afin d'éviter toute contamination.

8.3.2 Bobines à enroulements à fils jetés

- a) Il convient d'utiliser dans toute la mesure du possible un fil de bobinage de haute qualité et de veiller à satisfaire aux exigences des convertisseurs éventuels installés.
- b) Il convient que les bobines à enroulements à fils jetés soient ordonnées, avec un nombre minimum de conducteurs croisés. Il convient de même que le processus de formage n'endommage pas l'isolation des conducteurs.
- c) Des matériaux isolants modernes, un fil de bobinage et du cuivre permettent d'augmenter la section de cuivre des conducteurs, ce qui réduit les pertes de cuivre et entraîne un meilleur rendement. Il convient d'accorder une attention particulière au courant de démarrage.
- d) Afin de maintenir les caractéristiques de fonctionnement efficaces et de réduire le plus possible les problèmes éventuels de jeu mécanique, il convient que les têtes de bobines et la longueur moyenne de spire (MLT – *mean length of turn*) ne soient pas supérieures à l'enroulement d'origine, tout en maintenant la projection des développantes.
- e) Il convient que les développantes garantissent un jeu approprié par chanfreinage et frettage, en tenant compte des forces mécaniques et du refroidissement au démarrage.
- f) Il convient d'insérer des cales sur toute la longueur du rotor en prévoyant des écartements. Ces cales doivent présenter les caractéristiques matérielles et les caractéristiques thermiques assignées exigées, et être solidement fixées dans les encoches. Une attention particulière et des dispositifs supplémentaires peuvent être exigés pour les machines verticales. L'installation de cales de longueur supérieure à 200 mm n'est pas recommandée.
- g) Il convient d'utiliser l'isolation entre phases comme barrière dans toute la mesure du possible.
- h) L'enroulement peut être remplacé par un enroulement imbriqué à deux couches, par opposition à l'enroulement concentrique à bobinage machine, tant que le nouvel enroulement a le même flux par pôle que l'enroulement d'origine. L'installation de l'enroulement imbriqué est généralement plus facile et plus rapide. Cet enroulement peut de même réduire le plus possible les têtes de bobines et la longueur moyenne de spire (MLT) afin de maintenir ou d'améliorer le rendement. L'exposition équivalente de toutes les bobines au débit d'air permet également d'améliorer le refroidissement. L'isolation des phases et la ligature des bobines pour une résistance mécanique sont également améliorées. Il convient de veiller à ne pas trop réduire la MLT, ce qui peut compliquer le bobinage de la machine et affecter le refroidissement des enroulements.

- i) Si cela est exigé, le nombre de pôles, le pas polaire et la direction de rotation peuvent être vérifiés en appliquant un courant continu et au moyen d'un compas.

8.3.3 Bobines préformées

- a) L'épissurage ou la dérivation des bobines haute tension ne constitue pas des procédures de réparation acceptables. Toutefois, si le temps constitue le facteur le plus important, ces procédures peuvent proposer une réparation sur site rapide afin qu'un client puisse continuer à exploiter son installation à une puissance réduite. Ces méthodes de réparation peuvent prévoir une durée suffisante pour une réparation planifiée ou l'alimentation d'une machine/un stator de remplacement, tant qu'elles sont appliquées avec le plein accord du client.
- b) Il convient d'effectuer des enregistrements et de relever les dimensions avec une attention particulière afin d'assurer l'ajustage correct des bobines préformées en cas de fabrication en interne de celles-ci, ou tel que demandé par un constructeur de bobines externe.
- c) Afin de maintenir les caractéristiques de fonctionnement efficaces et de réduire le plus possible les problèmes éventuels de jeu mécanique, il convient que les têtes de bobines et la longueur moyenne de spire (MLT) ne soient pas supérieures à l'enroulement d'origine, tout en maintenant la projection des développantes. Il convient de maintenir l'écartement entre les bobines de la développante, ainsi que le jeu par rapport aux couvre-enroulements.
- d) Des matériaux isolants modernes, un fil de bobinage et du cuivre permettent d'augmenter la section de cuivre des conducteurs, ce qui réduit les pertes de cuivre et entraîne un meilleur rendement. Il convient d'accorder une attention particulière au courant de démarrage.
- e) Il convient que la forme des bobines préformées n'endommage pas l'isolation des conducteurs. Il convient que chaque couche isolante soit uniforme et appliquée fermement afin de réduire le plus possible les espaces libres.
- f) Lorsqu'une résistance mécanique élevée est exigée, il peut être nécessaire d'appliquer un vernis entre chaque couche isolante, en veillant à ce que le matériau soit compatible avec les données du système d'isolation.
- g) Lorsque les machines sont équipées de bagues de surtension (supports d'enroulements), ces dernières doivent être correctement isolées, si nécessaire.
- h) Il convient que les développantes garantissent un jeu approprié par chanfreinage et ligature, en tenant compte des forces mécaniques et du refroidissement au démarrage.

8.3.4 Essais concernant les stators rebobinés

Préalablement à l'imprégnation, il convient de soumettre à l'essai les nouveaux enroulements afin de garantir l'absence de raccordements incorrects ou autres défauts. Il convient d'effectuer l'essai de résistance des enroulements et l'essai de comparaison des surtensions (si cela est exigé) préalablement à l'essai de tension de tenue.

8.3.5 Essai de résistance des enroulements

L'essai de résistance des enroulements doit être effectué au moyen d'un ohmmètre ou d'un milliohmètre (se reporter à 6.3.1). Comparer avec les valeurs lues précédentes ou les données du constructeur lorsqu'elles sont disponibles.

8.3.6 Essai de comparaison des surtensions (ou d'équilibre des phases)

Un essai de comparaison des surtensions peut être effectué, si cela est exigé, au moyen d'un appareil d'essai de comparaison des surtensions. Une impulsion haute tension est appliquée sur deux ensembles différents de conducteurs d'enroulement. La sortie est ensuite contrôlée sur un oscilloscope ou un écran. Il convient qu'un enroulement satisfaisant produise une trace de recouvrement unique avec une tension de crête maximale de 1 000 V.

8.3.7 Essai de tension de tenue

Cet essai est également appelé essai sous tension élevée (hipot) ou essai de claquage. Les nouveaux enroulements doivent être capables de résister à l'essai de tension de tenue approprié conformément à l'IEC 60034-1.

Une tension d'essai, telle que spécifiée dans le Tableau 3, doit être appliquée entre les enroulements et la carcasse de la machine, le rotor et les enroulements non soumis à l'essai étant raccordés à la carcasse. L'essai de tension de tenue doit être effectué si les essais précédents ont été satisfaisants.

L'essai de tension de tenue effectué à pleine tension sur les enroulements ne doit pas être répété. Si, toutefois, un second essai est exigé, la tension d'essai doit être égale à 80 % de la tension spécifiée dans le Tableau 3.

Pour déterminer la tension d'essai du Tableau 3 pour les moteurs à courant continu alimentés par convertisseurs statiques de puissance, la tension continue du moteur ou la valeur efficace de la tension alternative assignée entre phases aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance doit être utilisée, la valeur la plus élevée étant retenue.

Les enroulements entièrement rebobinés doivent être soumis à l'essai à la tension d'essai maximale applicable aux machines neuves.

Lorsqu'un utilisateur et un réparateur sont convenus d'effectuer des essais de tension de tenue dans des cas de rebobinage partiel des enroulements ou de révision d'une machine, la procédure suivante est recommandée:

- a) les enroulements partiellement rebobinés sont soumis à l'essai à 75 % de la tension d'essai prévue pour une machine neuve. Avant l'essai, la partie ancienne de l'enroulement doit être soigneusement nettoyée et séchée;
- b) les machines révisées sont soumises, après nettoyage et séchage, à un essai à une tension égale à 1,5 fois la tension assignée, avec une tension minimale de 1 000 V si la tension assignée est supérieure ou égale à 100 V et une tension minimale de 500 V si la tension assignée est inférieure à 100 V.

Tableau 3 – Essais de tension de tenue conformément à l'IEC 60034-1

Point	Machine ou élément de la machine	Tension d'essai (valeur efficace)
1	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance (utile) assignée inférieure à 1 kW (ou kVA) et de tension assignée inférieure à 100 V à l'exception de ceux des points 4 à 8	500 V + deux fois la tension assignée
2	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance (utile) assignée inférieure à 10 000 kW (ou kVA) à l'exception de ceux des points 1 et 4 à 8 ^b	1 000 V + deux fois la tension assignée avec une tension minimale de 1 500 V ^a
3	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance (utile) assignée supérieure ou égale à 10 000 kW (ou kVA) à l'exception de ceux des points 4 à 8 ^b Tension assignée ^{a1} : – inférieure ou égale à 24 000 V – supérieure à 24 000 V	1 000 V + deux fois la tension assignée Soumis à accord
4	Enroulements d'excitation séparée des machines à courant continu	1 000 V + deux fois la tension assignée maximale d'excitation avec une tension minimale de 1 500 V
5	Enroulements d'excitation des génératrices, moteurs et condensateurs synchrones	
5a)	Tension assignée d'excitation: – inférieure ou égale à 500 V – supérieure à 500 V	Dix fois la tension assignée d'excitation avec une tension minimale de 1 500 V 4 000 V + deux fois la tension assignée d'excitation
5b)	Lorsque la machine est destinée à démarrer avec l'enroulement d'excitation court-circuité ou fermé sur une résistance de valeur inférieure à dix fois la résistance de l'enroulement	Dix fois la tension assignée d'excitation avec une tension minimale de 1 500 V et une tension maximale de 3 500 V.
5c)	Lorsque la machine est destinée à démarrer soit avec l'enroulement d'excitation fermé sur une résistance de valeur supérieure ou égale à dix fois la résistance de l'enroulement, soit avec les enroulements d'excitation en circuit ouvert avec ou sans diviseur de champ	1 000 V + deux fois la valeur maximale de la tension efficace qui peut se produire, dans les conditions de démarrage spécifiées, entre les bornes de l'enroulement d'excitation ou, dans le cas d'un enroulement d'excitation sectionné, entre les bornes de toute section, avec une tension minimale de 1 500 V ^c
6	Enroulements secondaires (habituellement rotors) des machines à induction ou des moteurs asynchrones synchronisés non court-circuités en permanence (destinés par exemple à démarrer par rhéostats)	
6a)	Pour moteurs non réversibles ou pour moteurs réversibles à partir de l'arrêt seulement	1 000 V + deux fois la tension en circuit ouvert à l'arrêt, mesurée entre les bagues ou les bornes secondaires avec la tension assignée appliquée aux enroulements primaires
6b)	Pour les moteurs qui peuvent être inversés ou freinés en inversant l'alimentation primaire lorsque le moteur est en fonctionnement	1 000 V + quatre fois la tension secondaire en circuit ouvert à l'arrêt comme défini au point 6a)
7	Excitatrices (sauf exception ci-dessous)	Comme les enroulements auxquels elles sont connectées
	<i>Exception 1:</i> excitatrices des moteurs synchrones (y compris les moteurs asynchrones synchronisés) lorsqu'elles sont mises à la terre ou déconnectées des enroulements d'excitation pendant le démarrage	1 000 V + deux fois la tension assignée de l'excitatrice avec une tension minimale de 1 500 V
	<i>Exception 2:</i> enroulements à excitation séparée des excitatrices (voir point 4)	

Point	Machine ou élément de la machine	Tension d'essai (valeur efficace)
8	Ensemble de machines et d'appareils électriquement reliés	Il convient d'éviter, si possible, la répétition des essais des points 1 à 7 ci-dessus, mais si l'essai est réalisé sur un ensemble de machines et d'appareils dont chacun a déjà passé avec succès un essai de tension de tenue, la tension d'essai à appliquer à un tel ensemble connecté électriquement doit être égale à 80 % de la tension la plus basse applicable à tout élément individuel de l'ensemble ^d
9	Les dispositifs qui sont en contact physique avec les enroulements, par exemple, les indicateurs de température doivent être soumis à l'essai par rapport à la carcasse de la machine. Pendant l'essai de tenue de la machine, tous les dispositifs en contact physique avec l'enroulement doivent être reliés à la carcasse de la machine.	1 500 V
<p>^a Dans le cas d'enroulements biphasés ayant une borne commune, la tension dans la formule doit être la plus haute tension en valeur efficace qui apparaît entre deux bornes quelconques pendant le fonctionnement.</p> <p>^b Il convient que l'essai de tenue sur des machines à isolation graduée fasse l'objet d'un accord.</p> <p>^c La tension qui s'établit aux bornes des enroulements d'excitation ou de leurs sections, dans les conditions de démarrage spécifiées, peut être mesurée à toute tension d'alimentation réduite appropriée; la tension ainsi mesurée doit être augmentée dans le rapport de la tension de démarrage spécifiée à la tension d'alimentation de l'essai.</p> <p>^d Pour les enroulements d'une ou plusieurs machines qui sont reliés ensemble électriquement, la tension à prendre en compte est la tension maximale qui s'établit par rapport à la terre.</p> <p>^e Le courant de fuite prélevé par la machine pendant l'essai de tension de tenue varie en fonction de la taille de la machine.</p>		

8.3.8 Protection thermique

Il convient de vérifier les thermocouples, thermistances et détecteurs de température de résistance et de les remplacer par des dispositifs identiques ou équivalents. La protection thermique incorporée et les détecteurs de température intégrés doivent être du même type ou des dispositifs de remplacement équivalents, et se situer aux mêmes emplacements que les appareils d'origine conformément à l'IEC 60034-11, sauf accord contraire.

8.3.9 Conducteurs et raccordements

- a) Il convient que le courant maximal admissible, la température assignée, l'isolation et les qualités mécaniques des nouveaux conducteurs correspondent ou dépassent la spécification d'origine et soient appropriés à la classification de température.
- b) Il convient que les raccordements n'introduisent pas de joints de haute résistance dans les circuits de bobinage.
 - 1) La qualité mécanique et électrique du brasage, sertissage, soudage et brasage tendre doit être aussi bonne que celle des raccordements d'origine.
 - 2) Il convient de neutraliser les pâtes, flux, etc., après utilisation, si nécessaire.
 - 3) Les raccordements doivent avoir une résistance électrique inférieure aux enroulements reliés.

8.3.10 Système d'isolation

- a) Il convient que le système d'isolation complet, et la méthode d'application comportent des matériaux compatibles permettant de satisfaire aux caractéristiques électriques, mécaniques et thermiques assignées de la machine. Il convient que le système d'isolation soit adapté à l'environnement de fonctionnement de la machine.
- b) Il convient que les matériaux isolants et les méthodes d'application soient au moins d'aussi bonne qualité, voire de qualité meilleure, que les matériaux et méthodes d'origine. Par

exemple, un enroulement de classe d'isolation 130 (B) pour un matériau d'une température de 130 °C est généralement amélioré en un enroulement d'une classe d'isolation minimale 155 (F) pour un matériau d'une température de 155 °C, dans toute la mesure du possible. Cette disposition offre une protection supplémentaire afin de réduire le plus possible les défaillances futures et de maîtriser les points chauds ou des conditions de charge inhabituelles. Il convient que les matériaux utilisés soient compatibles entre eux, tant sur le plan mécanique, que sur le plan électrique.

- c) Il convient d'améliorer le système d'isolation, si cela est exigé, afin de satisfaire aux exigences supplémentaires qu'impose un convertisseur au système.

8.3.11 Imprégnation

Il s'agit d'une zone dans laquelle l'atelier de service peut travailler en étroite collaboration avec l'utilisateur afin de garantir l'utilisation du système d'isolation le mieux adapté pour satisfaire aux exigences d'application réelles.

Il convient d'appliquer le vernis et/ou la résine, si cela est exigé, pour assurer la résistance mécanique et électrique, et de le ou la durcir à la température recommandée par le constructeur pendant une durée adaptée à la taille de la machine.

Le préchauffage du rotor bobiné améliore la pénétration de l'isolation. Un double trempage peut être exigé pour certaines applications particulièrement exigeantes, si le temps et le produit le permettent. Il convient d'appliquer le vernis sur les rotors bobinés à proximité de la position verticale dans le sens ascendant, afin d'évacuer l'air hors des rotors et remplir les entrefers de vernis.

Lorsque les rotors comportent des conduits d'air radiaux, avec circulation d'un flux contraire sur chaque conduit, un durcissement rotatif du vernis est exigé.

Les systèmes d'application adaptés sont les suivants:

Pour la basse tension:

- a) trempage et étuvage;
- b) écoulement goutte à goutte. L'imprégnation de l'enroulement électriquement chauffé s'effectue par capillarité et gravité;
- c) dépression (VPI).

Pour la haute tension:

- d) dépression (VPI) ou mise sous vide (VI);
- e) rubans et feuilles riches en résine. Autres méthodes pour les machines préformées haute tension.

Une pénétration correcte du produit d'imprégnation et un durcissement complet facilitent le transfert vers le réfrigérant de la chaleur produite dans les enroulements, ce qui permet de maintenir une température de bobinage peu élevée et d'améliorer le rendement.

8.3.12 Frettage de rotor bobiné

Il convient que le frettage, lorsqu'il est utilisé, ait une résistance mécanique suffisante pour résister aux forces centrifuges, courants de démarrage et vibrations de l'application.

Il convient que l'enroulement soit concentrique aux tourillons des paliers. Il convient également de le consolider préalablement au frettage, lorsque la pratique le permet.

Le frettage en verre rempli de résine doit être stocké à la température correcte avant utilisation.

Il convient d'appliquer un frettage métallique sur une barrière isolante. Les matériaux utilisés et les dimensions doivent correspondre aux matériaux et dimensions d'origine. Noter que des limites de tolérance peuvent avoir été établies concernant le circuit magnétique applicable aux matériaux de frettage.

8.4 Composants

8.4.1 Généralités

L'évaluation des composants d'origine est nécessaire pour démontrer leur adaptation aux exigences de service futures prévues.

Les composants de remplacement doivent être conformes aux normes les plus récentes lorsque la pratique le permet, ou aux normes d'origine. Il convient que leurs caractéristiques de fonctionnement soient identiques, voire supérieures à celles des composants d'origine. Il convient qu'un système qualité couvre les exigences relatives au stockage et à l'essai des matériaux avant utilisation.

Les composants mécaniques doivent être examinés pour leurs défauts éventuels. Il convient de remplacer ou réparer les fissures, déformations, ruptures, marques d'usure et de détérioration naturelle, ou de corriger l'intégrité de soudage, selon les spécifications du constructeur ou les normes d'origine, le cas échéant.

8.4.2 Logement et supports d'extrémité

L'orientation correcte du support d'extrémité et de l'emboîtement (feuillure) de la carcasse du stator doit être maintenue. Les ajustages d'origine ne sont pas toujours parfaitement circulaires. Les dimensions et les tolérances des logements de paliers remis en état ou à coussinets doivent également être toujours identiques à celles des logements d'origine. Il convient de réinstaller les supports d'extrémité et les chapeaux de paliers exactement dans la même position que la position d'origine.

Habituellement, toute remise en état est effectuée au moyen de techniques de soudage, chemisage ou métallisation. Le matériau est constitué puis usiné selon les dimensions du constructeur. Il convient que tout remplissage de composants par des composés époxydiques ou composés analogues soit convenu avec l'utilisateur avant utilisation.

Il convient de remplacer les nervures de refroidissement rompues ou manquantes, et il convient de nettoyer et de dégager les voies d'air afin de maintenir l'intégrité des caractéristiques de refroidissement.

Il convient que l'ajustage d'une carcasse de stator remplacée ou réinstallée ne soit pas trop serré sur le stator, ce qui augmenterait les pertes dans le rotor, ni trop lâche, ce qui gênerait le transfert normal de chaleur et augmenterait lesdites pertes. Il convient qu'un ajustage d'interférence soit conforme aux tolérances du constructeur ou aux bonnes pratiques techniques.

8.4.3 Ventilateurs et carénages de ventilateurs

Il convient que les dimensions et la structure des ventilateurs ou des carénages de ventilateurs de remplacement soient équivalentes aux ventilateurs et carénages d'origine. Il convient d'optimiser un ventilateur de remplacement de manière à ce que les pertes de ventilation soient équivalentes ou moindres que celles du ventilateur d'origine.

Il convient que les propositions de réparation d'un ventilateur soient convenues avec l'utilisateur. Il est préférable que les ventilateurs de remplacement proviennent du constructeur de la machine d'origine, le cas échéant. Le ventilateur fait partie intégrante du système de ventilation optimisé en matière de rendement et de caractéristiques de fonctionnement. Un ventilateur de plus grande taille réduit le rendement énergétique en raison de la puissance

absorbée supplémentaire, mais peut contraindre la machine à fonctionner dans des conditions ambiantes plus froides, tandis qu'un ventilateur de plus petite taille augmente le rendement de la machine, mais peut la contraindre à fonctionner dans des conditions ambiantes plus chaudes. Les machines à rendement énergétiques ont tendance à comporter des ventilateurs plus petits correspondant aux exigences des machines.

Une augmentation de la température de fonctionnement réduit la durée de vie du système d'isolation, et il convient que les modifications éventuelles soient effectuées uniquement en consultation avec le client.

Les ventilateurs doivent être solidement fixés sur l'arbre en appliquant la méthode de fabrication d'origine. Un soudage sur l'arbre n'est pas admis.

8.5 Rotor

8.5.1 Généralités

Il convient que la position axiale du rotor par rapport au stator soit centrale par rapport au paquet statorique. En cas de déplacement, les forces de centrage exercent une pression excessive sur les paliers. Un déplacement éventuel au-delà de l'extrémité du paquet statorique entraîne une augmentation du courant de magnétisation. Pour les machines équipées de paliers à coussinets, la position axiale relative du rotor par rapport au stator en cours de fonctionnement doit être vérifiée lors des essais afin d'éviter toute force axiale excessive sur le jeu axial des paliers. Il convient d'indiquer la position axiale correcte sur la machine selon 9.5.

8.5.2 Entrefer

Il convient de mesurer l'entrefer et de confirmer un niveau d'entrefer minimal acceptable, comprenant une répartition radiale régulière. Une augmentation de l'entrefer affecte le rendement de la machine.

8.5.3 Rotor à cage

Il convient de mesurer la résistivité et la composition chimique des matériaux d'origine des barres et des bagues d'extrémité du rotor afin de garantir le caractère identique des matériaux de remplacement.

Il convient que les enroulements à cage d'écureuil constitués, y compris l'amortisseur, fassent l'objet d'un ajustement serré dans les encoches du rotor.

Il convient que le brasage ou le soudage des bagues d'extrémité sur les barres du rotor, comme l'imposent les matériaux, maintienne les caractéristiques de conception d'origine.

Après fabrication, il convient d'examiner les connexions électriques afin de confirmer leur intégrité et leur pénétration complète.

Les rotors à cage coulés dont les barres sont endommagées ne peuvent être réparés et il convient de les remplacer par des rotors du constructeur d'origine.

8.5.4 Rotor à pôles saillants

Il convient de soumettre les pièces forgées et les pièces coulées à des essais par ressuage et/ou contrôles magnétoscopiques.

8.5.5 Bagues

- a) Il convient que les bagues soient concentriques aux tourillons des paliers. Les limites de concentricité dépendent du type, de la taille et de la vitesse superficielle de la machine. Il convient qu'elles soient conformes aux critères du constructeur.

Limites typiques pour les nouvelles bagues:

< 0,025 mm si 25 m/s et au-delà;

< 0,035 mm si 15 m/s et au-delà;

< 0,050 mm si 5 m/s et au-delà.

- b) Il convient que la surface des bagues soit lisse avec une rugosité recommandée de R_a comprise entre 0,75 μm et 1,25 μm .
- c) Il convient que le matériau constitutif des bagues soit suffisant pour assurer des caractéristiques de fonctionnement correctes des balais. Se reporter aux limites définies par le constructeur.
- d) Il convient de soumettre les bagues à un nouvel usinage en cas de preuves avérées d'une usure avancée des balais ou d'une dégradation de la surface des bagues due à une excentricité.

8.5.6 Condensateurs

Il convient que les condensateurs, le cas échéant, satisfassent à leur capacité assignée et soient soumis à une vérification par un essai de tension de tenue. Les remplacer si nécessaire.

8.5.7 Interrupteurs et composants de démarrage

Il convient de vérifier que tous les interrupteurs centrifuges et tous les relais de démarrage fonctionnent correctement et de les remplacer si nécessaire.

8.5.8 Composants d'excitation

Le fonctionnement et la sécurité des composants de redressement, de lissage et de protection doivent être vérifiés.

8.6 Arbres

Dans certains cas, les arbres peuvent être réparés par chemisage, en utilisant des méthodes de soudage en spirale, ou par usinage supplémentaire. En cas d'application de techniques de métallisation, une résistance d'adhésion de 40 MPa est recommandée. La métallisation n'est pas recommandée lorsque la vitesse périphérique dépasse 90 m/s.

Avant d'appliquer tout processus correctif visant à récupérer un arbre, la zone endommagée doit être soumise à un essai non destructif afin d'identifier les fissures éventuelles par des essais par ressuage, des contrôles magnétoscopiques ou d'autres méthodes. Toutes les fissures doivent être éliminées.

Le dépôt électrolytique est une procédure acceptable à condition que la partie qui y est soumise ne soit pas affaiblie en dessous des limites de sécurité. Les procédures de dépôt électrolytique de chrome et de dépôt électrolytique de nickel sont spécifiées dans l'ISO 6158 et l'ISO 4526 respectivement.

Les portées de paliers peuvent être remises en état par métallisation ou des techniques de soudage. Les portées de paliers remises en état doivent avoir la dimension appropriée tout comme les portées d'origine et doivent se situer dans les limites de tolérance du constructeur de la machine ou des paliers. Le martelage des arbres afin d'améliorer leur ajustement n'est pas recommandé dans la mesure où il s'agit d'un processus non maîtrisé.

En cas d'usure sévère des tourillons de paliers, il peut être nécessaire d'obtenir un arbre de remplacement ou de fabriquer un nouvel arbre. En cas de remplacement de l'arbre, il convient que le matériau de remplacement ait les mêmes propriétés magnétiques et mécaniques que le matériau d'origine.

La remise en état par soudage ne doit être envisagée que si la technique employée assure la pénétration et la fusion correctes de la soudure dans le métal de base. Cette procédure assure un renforcement suffisant, la prévention des déformations, la relaxation des contraintes et l'absence de boursouflures. Il convient de reconnaître que le soudage porte la température du composant à un niveau élevé et peut provoquer la propagation des fissures de fatigue. Les techniques de soudage rotatif/en spirale recommandées sont les suivantes:

- a) MIG: soudage avec électrode de métal sous gaz inerte;
- b) TIG: soudage avec électrode de tungstène sous gaz inerte;
- c) Soudage à l'arc: soudage avec électrode de métal sous gaz inerte avec couche de flux;
- d) Fil chaud.

Les arbres soumis à des charges radiales élevées peuvent ne pas être adaptés au soudage. Il convient que la rigidité (faux-rond) des arbres et la concentricité des brides soient conformes aux critères du constructeur. Voir Tableaux B.3, B.4 et B.5.

8.7 Paliers

Il convient généralement de remplacer les paliers lubrifiants antifrottements à éléments roulants par des paliers équivalents avec la classe et l'ajustage d'origine, à moins que leur caractère inadapté à l'application ne soit avéré. Les paliers à rouleaux de côté entraînement peuvent être spécifiés pour une capacité de charge radiale accrue ou les paliers de butée pour des charges axiales élevées. La fixation des nouveaux paliers peut nécessiter jusqu'à 24 h de fonctionnement. Une propreté extrême est exigée pour éviter la contamination du palier et/ou la lubrification lors du remplacement. Il convient d'utiliser une zone de travail propre pour la remise en état et le remontage. Le jeu axial, qui permet la dilatation thermique de l'arbre, doit être vérifié et garanti.

Il convient de remplir les paliers graissés conformément aux recommandations de l'utilisateur concernant le type et la quantité. Il convient de prélever la graisse dans un conteneur étanche pour éviter toute contamination. Un graissage excessif des paliers entraîne une perte de rendement.

Il convient de soumettre les ajustages de paliers sur les arbres et dans les logements, ainsi que les ajustages des logements sur les carcasses, à un contrôle attentif par rapport aux limites de tolérance. Voir Tableaux B.4 et B.5. Il convient de remplacer les rondelles de précharge ou les plaques-freins comme cela est spécifié sur la machine d'origine. Lorsque le constructeur a appliqué de la graisse antirotation entre le logement du palier et le chemin de roulement extérieur du palier de machines peu bruyantes, cette graisse doit être appliquée sur le logement avant d'installer le palier.

Il convient d'encastrier les paliers à coussinets suivant les recommandations du constructeur. En cas d'isolation des paliers, il convient de vérifier par essai la fonction de l'isolation et d'enregistrer les résultats. Il convient que les paliers à coussinets nouveaux ou refabriqués aient un diamètre uniforme. De même, il convient que leur ajustage soit correct et qu'ils présentent un lissage interne. Il convient qu'ils comportent des rainures appropriées pour la répartition recommandée de la graisse, et qu'ils soient positionnés de manière à supprimer toute poussée axiale par rapport à chaque palier de machines horizontales.

8.8 Lubrification

8.8.1 Graisse

Tous les passages de graisse et toutes les canalisations doivent être décontaminés et dégagés. L'orifice d'admission de graisse doit être correctement protégé contre la contamination. Il convient de remplir les réservoirs de graisse selon les instructions du constructeur des paliers.

Les graisses appliquées doivent être telles que spécifiées par le constructeur de la machine ou le constructeur des paliers, ou comme convenu avec l'utilisateur.

Un graissage excessif des paliers peut diminuer de manière considérable le rendement de la machine.

8.8.2 Huile

L'huile utilisée doit être telle que spécifiée par le constructeur et remplie selon le niveau d'huile indiqué correct. Il convient de vidanger l'huile avant transport et de l'ajouter à l'arrivée. Il convient d'identifier clairement la nécessité d'un lubrifiant avant la mise en service.

8.9 Radiateurs

Il convient de vérifier le courant et la puissance assignés des radiateurs. De même, il convient de soumettre les radiateurs à un essai de tension de tenue. Il convient de les remplacer, ainsi que leur câblage, en cas de défaillance. Il convient que le câblage de remplacement soit adapté à la classe thermique de la machine.

8.10 Capteurs de température

Il convient de remplacer les capteurs de température des enroulements, paliers ou gaz de refroidissement par des composants identiques afin d'assurer le même niveau de protection, en cas de défaillance.

8.11 Indice de protection et protection contre la corrosion

Avant assemblage, il convient de nettoyer et de protéger contre la corrosion tous les composants et ensembles. Lors de l'assemblage, tous les dispositifs d'étanchéité tels que les joints, joints d'étanchéité et joints toriques- doivent être remplacés, si cela est exigé, afin de maintenir les niveaux de protection d'origine.

8.12 Boîtes à bornes et raccordements

Il convient de vérifier l'état des boîtes à bornes et de les réparer selon la norme d'origine. Il convient de remplacer les parties endommagées ou manquantes telles que les boulons, joints d'étanchéité, joints, etc. Il convient que la boîte à bornes ne comporte pas un nombre excessif de bornes. La présence de parafoudres ou de condensateurs de lissage exige une vérification attentive de l'intégrité des boîtes à bornes.

Il convient que l'isolation des conducteurs d'enroulement ne présente aucun signe de surchauffe ou de fragilité. Toutes les bornes doivent être fermement serties ou brasées sur le conducteur d'enroulement. Il convient de conserver un enregistrement:

- a) des positions des liaisons entre les bornes;
- b) de la taille et du type de fil conducteur;
- c) de la taille et du style de patte.

9 Essais finaux

9.1 Équipements d'essai

Il convient que les instruments et équipements d'essai à utilisation régulière fassent l'objet d'un étalonnage annuel. Les périodes d'étalonnage des instruments à utilisation intermittente peuvent être étendues dans le cadre du système de management de la qualité. Les essais visant à démontrer les performances de fonctionnement exploiteront les informations des parties correspondantes de la série IEC 60034, sauf accord contraire entre l'utilisateur et l'atelier de service. Pour les tolérances d'essai, se reporter à l'IEC 60034-1 (toutes les parties). Lorsque des essais équivalents ont été effectués avant réparation, il convient de comparer les résultats d'origine et les résultats finaux. Voir le Tableau 4 ci-dessous pour une liste minimale des essais individuels de série.

Tableau 4 – Liste minimale des essais individuels de série conformément à l'IEC 60034-1

Numéro	Essai	Machines à induction (incluant les moteurs asynchrones synchronisés ^a)	Machines synchrones		Machines à courant continu avec excitation séparée ou shunt
			Moteurs	Génératrices	
1	Résistance des enroulements (froid)	Oui	Oui	Oui	Oui
2	Pertes et courant à vide ^e	Oui			
3a	Pertes à vide avec un facteur de puissance unitaire ^b		Oui ^d	Oui ^d	
3b	Courant d'excitation à vide à la tension assignée par un essai à vide ^b		Oui ^d	Oui ^d	
4	Courant d'excitation à la vitesse et la tension de l'induit assignées				Oui
5	Tension induite au secondaire circuit ouvert et à l'arrêt (rotor bobiné) ^c	Oui			
6a	Sens de rotation	Oui	Oui		Oui
6b	Séquence des phases			Oui	
7	Essai de tension de tenue (Nouveaux enroulements and nouveaux rebobinages)	Oui	Oui		Oui

^a Définition IEC: IEC 60050-411:1996, 411-33-04.
^b Machines à aimants permanents exclues.
^c Pour des raisons de sécurité, cet essai peut être réalisé à tension réduite.
^d Seul un des essais 3a ou 3b est exigé.
^e Aucune stabilisation de température exigée pour le mesurage des pertes à vide.

9.2 Résistance d'isolement

Il convient de mesurer la résistance d'isolement au moyen d'un mégohmmètre et de corriger en température conformément à l'IEC 60034-27-4 (se reporter à 6.3.3).

9.3 Résistance des enroulements

La résistance de chaque enroulement doit être mesurée et corrigée en température selon une température de référence. Dans le cas des enroulements triphasés, la résistance de chaque phase ou entre bornes doit être équilibrée. (Voir 6.3.1).

9.4 Essai à vide

Si la machine peut fonctionner à vide après remontage, un essai à vide doit être effectué à la tension et à la fréquence assignées. Il convient d'enregistrer la vitesse et le courant. Les dispositions et les tolérances spécifiées dans l'IEC 60034-1 concernant les caractéristiques assignées et les caractéristiques de fonctionnement doivent s'appliquer aux machines réparées ou reconditionnées. Pour des machines plus grandes, l'essai à vide peut être effectué sur site ou par accord.

- a) Il convient également de vérifier la température ambiante et l'échauffement de la machine et des paliers jusqu'à ce qu'ils soient stables.
- b) Il convient également de vérifier le fonctionnement satisfaisant du système de refroidissement. Il convient que ce dernier soit conforme à l'IEC 60034-6 (méthodes de refroidissement).
- c) Des contrôles du niveau acoustique peuvent également être effectués pour indiquer des défauts, et pour assurer qu'ils relèvent des recommandations de l'IEC 60034-9 pour les niveaux de bruit.
- d) Les niveaux de vibrations relevés à vide constituent un indicateur clé de l'état d'une machine. Il convient que le mesurage, l'évaluation et les limites de l'intensité vibratoire soient conformes à l'IEC 60034-14 (vibrations mécaniques de certaines machines de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm). Il convient que le rotor fasse l'objet d'un équilibrage dynamique à vide conformément aux étalons A ou B donnés dans l'IEC 60034-14 comme convenu avec l'utilisateur. «A» s'applique aux machines sans exigences particulières concernant les vibrations.

9.5 Marquage du centre magnétique (par accord)

Ce marquage est exigé lorsque l'utilisateur exige une indication visuelle précisant que le centre magnétique se situe dans les limites axiales de sécurité du jeu axial mécanique. Le marquage est normalement indiqué par un repère adapté apposé sur l'arbre.

9.6 Essai à rotor bloqué (le cas échéant)

Pour cet essai, le courant et le couple du rotor bloqué doivent être mesurés conformément à l'IEC 60034-1 et comparés aux données du constructeur, le cas échéant.

9.7 Marche à pleine charge pour les moteurs

Cet essai est généralement effectué en accord avec le client et selon les installations d'essai disponibles afin de vérifier les caractéristiques de fonctionnement complètes de la machine. L'essai est particulièrement adapté pour contrôler les machines critiques dont le retour à l'atelier s'avère difficile après installation en raison soit de l'emplacement, d'un espace confiné, des exigences concernant le mécanisme de levage, du mode d'expédition, d'une exploitation en mer, etc. Les essais complémentaires peuvent comprendre des mesurages du rendement et de l'échauffement, des essais de charge indirecte, des essais d'excès de courant et de couple et des essais de couple/vitesse.

9.8 Essai d'échauffement à plein courant à facteur de puissance zéro (par accord)

Pour les machines synchrones, dans toute la mesure du possible.

9.9 Compatibilité électromagnétique (par accord)

Conformité si nécessaire.

9.10 Auxiliaires

Vérification des détecteurs de température, de vibrations, de vitesse, etc.

9.11 Essai de chute des pôles saillants en courant continu ou alternatif

Essai de comparaison des enroulements.

10 Exigences supplémentaires pour les machines à courant continu

10.1 Généralités

Il convient de se reporter à l'IEC 60034-19 pour les méthodes spécifiques d'essai pour machines à courant continu à alimentation conventionnelle ou redressée. Pour les machines de traction ferroviaire et routière, il convient de se reporter à l'IEC 60349-1 pour les exigences spécifiques.

10.2 Machine à courant continu assemblée: contrôle, essais et évaluation

10.2.1 Généralités

Le présent 10.2 contient des exigences supplémentaires pour les machines à courant continu, assemblées avant réparation.

10.2.2 Essai à vide ou essai à faible charge

Dans la mesure du possible, il convient que les moteurs shunt et que les moteurs bobinés compounds à courant continu soient soumis à un essai avec application de la tension assignée à l'induit et application du courant de champ assigné au champ de dérivation. Il convient que cet essai produise une vitesse environ 10 % supérieure à la vitesse assignée. Il convient de comparer la vitesse mesurée et le courant à vide aux données de plaque signalétique, le cas échéant, ou aux données d'essai du constructeur. Les machines à courant continu à enroulement en série doivent être soumises à une excitation séparée ou chargées mécaniquement afin de protéger contre le danger d'emballement.

Il convient que les génératrices à courant continu soient entraînées à la vitesse assignée avec application du courant assigné au champ de dérivation. Il convient de mesurer la tension de sortie et de la comparer à la tension assignée.

Il convient qu'aucune étincelle visible ne se produise sur les balais au cours de l'essai à vide. Il convient d'enregistrer le niveau de formation d'étincelle lorsqu'il existe.

Les mesurages du niveau de bruit et les analyses de vibrations peuvent fournir une indication du type de défaut. Un bruit significatif et des vibrations au cours de l'essai à vide peuvent indiquer des problèmes d'équilibre, ainsi que la présence de frottements, des résonances, une patte mal fixée, des défauts au niveau des paliers ou des composants desserrés.

10.2.3 Essai barre à barre

Cet essai mesure la résistance entre deux barres de collecteurs contiguës. L'essai peut détecter les courts-circuits ou les résistances élevées dans la bobine ou les connexions collecteur-bobine.

10.2.4 Essai de surtension

Une impulsion haute tension est appliquée sur deux sections de l'enroulement de l'induit. La sortie est ensuite contrôlée sur un oscilloscope. Il convient qu'un enroulement satisfaisant produise une trace de recouvrement unique. Une tension de crête de 1 000 V est applicable.

10.3 Machine démontée: Contrôle, essais et évaluation

10.3.1 Enroulement de champ

Il convient que les options d'essai électrique comprennent:

- a) le mesurage de la résistance à courant continu;
- b) l'essai de comparaison des surtensions visant à confirmer la symétrie de l'enroulement;

c) un essai de chute utilisant une tension alternative ou continue avec des bobines en série.

10.3.2 Enroulement de pôles auxiliaires et bobine de compensation

Les pôles auxiliaires ont un nombre réduit de spires et une faible résistance. Pour les machines à courant continu de grande taille, les bobines de compensation sont en série. Pour ces machines à courant continu de grande taille, les essais ci-dessous doivent être appliqués à un ensemble d'enroulements de pôles auxiliaires et de bobines de compensation en série pour chaque pôle, et non de chaque «pôle auxiliaire». Il convient que les essais comprennent:

- a) un essai de chute en courant alternatif utilisant une alimentation à courant élevé;
- b) un essai de surtension qui compare chaque paire de pôles auxiliaires;
- c) un essai d'impédance pour la comparaison du courant, en appliquant une tension alternative basse à chaque pôle auxiliaire et en comparant le courant appelé.

10.3.3 Enroulement de l'induit

Il convient que les essais d'enroulement comprennent:

- a) un contrôle visuel des défauts évidents tels que les bobines en court-circuit ou les défauts à la terre;
- b) un essai au grognard qui applique une tension induite dans l'enroulement de l'induit;
- c) un essai de résistance barre à barre ou de chute de tension;
- d) un essai barre à barre à haute fréquence qui compare les différentes sections de l'induit, si cela est exigé;
- e) un essai de comparaison des surtensions pour déterminer la symétrie;
- f) un contrôle du frettage des développantes pour identifier les défauts éventuels;
- g) un essai de tension de tenue, par accord, s'il est nécessaire de déterminer le défaut dans l'atelier plutôt que sur le site.

10.3.4 Collecteur

Lors de la réparation, il convient de contrôler les éléments suivants afin d'accroître le plus possible la durée de vie du collecteur. Une photographie numérique peut si nécessaire être prise pour enregistrer les schémas d'usure et l'état du collecteur.

- a) dimensions;
- b) faux-rond;
- c) excentricité;
- d) étanchéité des fixations;
- e) segments trop élevés, trop bas, ou desserrés;
- f) méplats;
- g) étanchéité du frettage; remplacer si contaminé ou ajustage incorrect;
- h) fini (patine) du film de surface du collecteur et schémas d'usure;
- i) rugosité;
- j) vérification des bords biseautés des segments;
- k) position du mica entre les segments et sous la surface des barres;
- l) cuivre couché entre l'induit et les segments;
- m) contamination avérée (vérifier la présence éventuelle de contaminants tels que de la graisse ou une poussière de carbone excessive).

10.4 Réparation

10.4.1 Dimensions du collecteur

Pour les machines d'une puissance supérieure à 1 kW, il convient que la rugosité de surface recommandée du collecteur R_a soit comprise entre 0,9 μm et 1,8 μm . Il convient de réduire le matériau isolant ou de le laisser de niveau tel que déterminé par l'application. Il convient qu'il n'y ait aucun méplat ou aucune surépaisseur localisée, ni aucun segment bas ou desserré. Il convient que la profondeur radiale de la barre du collecteur soit suffisante pour assurer des caractéristiques de fonctionnement correctes des balais. Il convient également qu'elle se situe dans les limites définies par le constructeur.

Le faux-rond/la concentricité du collecteur doivent être mesurés. Les limites recommandées sont énumérées ci-dessous. Le collecteur doit faire l'objet d'une rotation pour être concentrique aux tourillons des paliers.

- $\varepsilon < 0,020$ mm si vitesse de rotation supérieure à 45 m/s;
- $\varepsilon < 0,030$ mm si vitesse de rotation comprise entre 25 m/s et 45 m/s;
- $\varepsilon < 0,050$ mm si vitesse de rotation inférieure à 25 m/s.

où ε est l'excentricité du collecteur.

10.4.2 Porte-balais

Pour assurer une conduction correcte du courant, il convient de vérifier les éléments suivants. Une mauvaise conduction du courant entraîne une usure du collecteur.

- a) Il convient d'enregistrer la position des porte-balais par rapport au collecteur en matière de position neutre, d'écartement angulaire et de jeu mécanique entre le porte-balais et la surface du collecteur, d'alignement des axes et de décalages des tangentes.
- b) Il convient que les porte-balais soient propres et exempts de saletés ou d'huile. Il convient de dégager toutes les parties mobiles.
- c) Il convient de vérifier la position du porte-balais afin de présenter les balais à leur position d'orientation correcte sur le collecteur et de maintenir un espacement égal autour du collecteur entre les balais. Cette opération peut inclure l'alignement radial ou tangentiel des balais, des désaxements axiaux et tangentiels des balais, ainsi que l'écartement angulaire des balais.
- d) Il convient que le jeu entre le porte-balais et le collecteur soit compris entre 1,5 mm et 3 mm selon la taille de la machine. Il convient que les spécifications du constructeur s'appliquent.
- e) Il convient de vérifier la pression des ressorts conformément aux spécifications du constructeur pour le type d'application et de balais et de la régler si cela est exigé pour fournir la pression adaptée à un bon fonctionnement du collecteur. Il convient de déterminer la pression des balais sur la base de la tension des ressorts, ainsi que de la surface et du poids des balais.
- f) Un carré indiquant les dimensions en mètres et un triangle indiquant les dimensions en pouces peuvent être apposés sur les balais et les porte-balais. Des balais de remplacement avec des dimensions en pouces installés sur des porte-balais avec des dimensions en mètres, ou inversement, peuvent engendrer des problèmes dus à un ajustage incorrect sur le porte-balais.
- g) Il convient de vérifier le jeu des balais dans le porte-balais par rapport aux valeurs recommandées. Un jeu excessif exige de remplacer un balai ou la gaine de porte-balais. Voir le Tableau 5 ci-dessous.
- h) Il convient que l'isolation des tiges de balais ne soit pas carbonisée, fissurée ou endommagée. Il convient de soumettre les porte-balais et les cavaliers à un essai d'isolation à la tension d'essai recommandée.

Tableau 5 – Jeu entre les balais et le porte-balais (tiré du Tableau 1 de IEC 60136:1986)

Dimensions nominales des balais	Jeu mm	
	Max	Min
Largeur et épaisseur 1,6/ 2,0/ 2,5	0,144	0,044
3,2	0,158	0,050
4,0/ 5,0	0,178	0,050
6,3/ 8,0/ 10,0	0,193	0,055
12,5/ 16,0	0,232	0,072
20,0/ 25,0	0,254	0,080
32,0/ 40,0/ 50,0	0,300	0,100
64,0/ 80,0	0,330	0,110

10.4.3 Balais

Il convient que le montage des balais sur le porte-balais soit dégagé, propre et constitue un ajustement glissant parfait. Il convient que les connexions des balais soient étanches et ne permettent pas la circulation du courant dans le ressort de balais. Il convient que la partie avant du balai soit disposée de manière à assurer un contact total avec le collecteur.

Il convient d'identifier et de corriger si nécessaire l'usure des balais, ainsi que la position des balais courts. Il convient de remplacer ces balais s'ils sont usés au-delà de leur durée de vie utile.

Il convient que les qualités de balais soient identiques et conformes aux recommandations du constructeur. Il convient que tous les balais aient la même qualité sauf spécification différente par le constructeur de la machine ou des balais. En cas de différence des qualités de balais par rapport aux recommandations du constructeur, vérifier avec l'utilisateur si cette différence est volontaire, en tenant compte des conditions et de l'environnement de fonctionnement.

10.4.4 Position neutre des balais

Il convient de disposer les balais pour assurer leur position neutre conformément à l'IEC 60034-19 (position faisant l'objet d'un marquage clair). La méthode préférentielle est décrite ci-dessous, mais d'autres méthodes peuvent être appliquées lorsque cette méthode ne peut être utilisée. La position neutre est définie par une installation complète des balais, en appliquant une tension alternative de 100 V à 240 V aux champs de dérivation, et en mesurant la tension alternative entre les porte-balais de polarité opposée. Il convient de déplacer l'ensemble porte-balais afin d'obtenir la tension induite la plus faible. Si la tension induite ne peut pas être réglée sur 10 mV ou moins, il convient de vérifier l'écartement ou l'assise des balais, voire la polarité de champ.

Lorsque la machine à courant continu est assemblée, chaque balai doit être simultanément en contact avec au moins deux barres de collecteur, ce qui court-circuite la bobine d'induit reliée à ces barres. Lorsque les bobines d'induits en court-circuit par les balais se situent à mi-distance entre les pôles principaux, les balais sont considérés comme réglés pour la position neutre.

10.4.5 Enroulements d'excitation et de pôles auxiliaires et bobines de compensation

Il convient d'effectuer des contrôles de géométrie des pôles et de dimensionnement. La partie arrière du revêtement des pôles doit être remplacée en l'état, y compris les éléments de calage non magnétiques. Il convient d'appliquer un vernis aux enroulements de dérivation, de série et

de pôles auxiliaires fixes, ainsi qu'aux bobines de compensation fixes selon le niveau de fabrication d'origine.

10.4.6 Entrefer

Il convient que les entrefers radiaux applicables à tous les pôles et pôles auxiliaires des machines à courant continu soient uniformes et conformes aux recommandations du constructeur. Il convient de considérer les entrefers applicables aux pôles auxiliaires comme un ensemble; les entrefers applicables aux pièces polaires sont indépendants de l'entrefer applicable aux pôles auxiliaires. Il convient que les entrefers applicables à chaque ensemble soient équivalents et correspondent à $\pm 5\%$ de la valeur lue moyenne pour les entrefers. Sur certaines machines, le constructeur peut modifier l'entrefer des pôles auxiliaires afin d'obtenir un meilleur fonctionnement du collecteur.

10.4.7 Faux-ronds du rotor

Préalablement au remontage, mesurer le bout d'arbre, la rigidité des tourillons ou des portées de paliers, ainsi que la rigidité du corps de rotor, par des lectures totales de l'indicateur (TIR – *total indicator reading*), le rotor étant monté sur une tour, des blocs en V ou des rouleaux. Enregistrer les résultats et confirmer qu'ils se situent dans les limites d'acceptation définies par le constructeur.

10.4.8 Équilibre du rotor

Le rotor doit être équilibré après que toutes les opérations de nettoyage, vérification par essais, contrôle et réparation sont achevées. Cet équilibrage doit être effectué sur une machine d'équilibrage conformément à l'ISO 21940-11 pour les rotors rigides.

Si le rotor est en dehors des limites de déséquilibre résiduel suivantes, il doit faire l'objet d'un équilibrage par compensation. Les valeurs recommandées sont les suivantes:

- a) G2.5 Norme de qualité d'équilibrage pour des vitesses inférieures à 2 500 r/min.
- b) G1.0 Norme de qualité d'équilibrage pour des vitesses supérieures à 2 500 r/min.

Les exigences suivantes concernant les contrepoids doivent être satisfaites pour l'équilibrage du rotor:

- c) Tous les contrepoids doivent être fixés mécaniquement.
- d) Il convient dans toute la mesure du possible d'éviter de fixer les contrepoids sur des ventilateurs.
- e) Les moyeux de fixation des paliers à éléments roulants et les patins de paliers de poussée à patins oscillants doivent être montés sur l'arbre pour équilibrage.
- f) Le demi-accouplement ou une demi-clavette doit être installé(e) sur le bout d'arbre pour l'équilibrage du rotor.
- g) Si le rotor comporte un ventilateur de refroidissement externe monté sur l'arbre, celui-ci doit être installé pour l'équilibrage.
- h) Les rotors de grande taille à deux et quatre pôles, ainsi que les rotors de machines à vitesse élevée de grande taille peuvent exiger un équilibrage à la vitesse assignée, en cas de vitesse critique inférieure à cette vitesse assignée et lorsque la sécurité l'impose. Cet équilibrage est recommandé lorsque les vitesses critiques sont présumées être inférieures à la vitesse nominale du rotor.

10.5 Essais finaux sur les machines à courant continu

10.5.1 Porte-balais

Il convient de soumettre les porte-balais et les cavaliers à un essai d'isolation.

10.5.2 Essai à vide ou essai à faible charge

Il convient de soumettre le moteur à un fonctionnement d'essai après la réalisation des essais statiques. Se reporter à 10.2.2.

11 Exigences supplémentaires concernant les machines à courant alternatif haute tension (par accord)

11.1 Machine haute tension assemblée: contrôle et essais

11.1.1 Généralités

Ces vérifications complémentaires et facultatives concernent les différents types de machines sur lesquels il convient que tous les partenaires contractuels s'accordent. Les essais complémentaires (si ces essais n'ont pas déjà été effectués) sont applicables aux machines à courant alternatif haute tension, assemblées avant réparation.

11.1.2 Tan delta (essai «tip-up» en Amérique du Nord)

Cet essai, également désigné facteur de puissance, ou essai «tip-up», est effectué à des valeurs de tension croissantes. Cet essai consiste en un essai diélectrique d'isolation non destructif utile pour des tensions de 5 kV et plus. Les décharges partielles commencent habituellement au-delà de ce niveau de tension.

11.1.3 Essai de décharge partielle

Les essais de décharge partielle peuvent être utilisés comme l'un des outils de mesure de l'état de l'isolation et de prévision de la qualité pour des appareils de tension assignée égale à 3 kV et plus. L'interprétation correcte des résultats d'essai exige une expérience suffisante concernant le système d'isolation examiné.

11.2 Machine haute tension démontée: contrôle et essais

11.2.1 Essai du facteur de dissipation diélectrique

Il convient d'appliquer cet essai aux enroulements à la terre et également aux traversées de bornes afin de vérifier la qualité de l'isolation.

11.2.2 Essais du facteur de dissipation diélectrique des bobines et barres des enroulements statoriques

En cas de rebobinage, ou de rebobinage partiel avec des bobines/barres nouvelles ou usagées, il convient d'effectuer l'essai du facteur de dissipation diélectrique afin de vérifier la qualité d'isolation de chaque bobine/barre jusqu'à la tension assignée (se reporter à l'IEC 60034-27-3).

11.2.3 Détérioration des cales d'encoches du stator

Il convient de contrôler toutes les cales composites et magnétiques desserrées ou endommagées, et de les remplacer si elles sont endommagées.

11.2.4 Suppression de décharges des encoches et des têtes de bobines des enroulements statoriques

Il convient de vérifier l'efficacité des composants de suppression de décharges des encoches et bobines, ou des barres et têtes de bobines. Cette vérification peut s'effectuer à l'aide d'une source de tension alternative afin de mettre sous tension l'enroulement (tension alternative phase-terre assignée ou légèrement supérieure), et en observant cet enroulement dans l'obscurité ou avec une caméra aux ultraviolets afin d'identifier les traces évidentes de décharges partielles surfaciques (effet couronne).

11.3 Machines haute tension: essais finaux

11.3.1 Essai de haute tension de tenue pour les machines haute tension

Un essai de tension de tenue conforme à l'IEC 60034-1 doit être effectué entre les enroulements et la terre, et entre les enroulements en cas de bobinage multiple. Il convient que ces essais soient effectués par accord pour les machines complètement bobinées et les machines partiellement rebobinées selon le Tableau 3.

Pour les machines avec une tension assignée supérieure ou égale à 6 kV, en l'absence de matériel d'essai à fréquence industrielle, un essai en courant continu peut être effectué à une tension égale à 1,7 fois la valeur efficace indiquée dans le Tableau 3 (par accord). Il est admis que, lors d'un essai à courant continu, la répartition du potentiel superficiel le long du revêtement isolant des développantes et les mécanismes de vieillissement sont différents de ceux observés lors d'un essai à courant alternatif.

La tension d'essai pour les machines avec une tension assignée supérieure à 1 kV, et dont les deux extrémités de chaque phase sont accessibles individuellement, doit être appliquée entre chaque phase et la carcasse, le rotor, les autres phases et les enroulements non soumis à l'essai étant raccordés à la carcasse.

L'essai doit débuter à une tension ne dépassant pas la moitié de la tension d'essai maximale. La tension doit ensuite être augmentée jusqu'à sa valeur maximale, de manière constante ou par paliers de 5 % au plus de cette valeur, le temps de passage autorisé de la tension d'une demi-valeur à la valeur maximale étant de 10 s au moins. La tension d'essai maximale doit alors être maintenue pendant 1 min conformément à la valeur spécifiée dans le Tableau 3 en 8.3.7.

Aucune défaillance ne doit se produire au cours de cette durée (voir IEC 60060-1).

L'essai de tension de tenue effectué à pleine tension sur les enroulements ne doit pas être répété. Si, toutefois, un second essai est exigé, la tension d'essai doit être égale à 80 % de la tension spécifiée dans le Tableau 3 en 8.3.7.

Pour les machines haute tension, des méthodes supplémentaires telles que décrites dans les parties de l'IEC 60034-27 peuvent être utilisées pour démontrer le caractère adapté du système d'isolation des enroulements des machines.

11.3.2 Essais de tension de tenue pour les révisions et les rebobinages partiels (par accord)

Il est possible que des essais complémentaires soient exigés pour les machines avec des tensions supérieures à 1 000 V (tensions alternatives) ou à 1 500 V (tensions continues). Ces essais doivent être l'objet du contrat de réparation ou de révision.

11.3.3 Essai de survitesse (par accord)

Lorsque les rotors sont soumis à des contraintes centrifuges élevées en fonctionnement, un essai de survitesse peut être effectué conformément à l'IEC 60034-1 selon l'application, et en accord avec le client.

11.3.4 Essai en court-circuit (par accord)

Essai effectué sur l'induit court-circuité afin de produire une courbe de saturation.

11.3.5 Tension résiduelle (par accord)

Excitatrices tournantes.

11.3.6 Essais de fuite de circuits de refroidissement (par accord)

Enroulements à refroidissement par l'eau soumis à l'essai pour éviter toute fuite dans l'isolation des enroulements.

12 Essais complémentaires pour les génératrices haute tension

12.1 Corrosion caverneuse des enroulements statoriques

Il convient que l'étanchéité du brasage de la chambre d'équilibre des machines à refroidissement direct par l'eau, comportant des conducteurs creux en cuivre, fasse l'objet d'une vérification pour déterminer un enroulement sec. Cette vérification prend la forme d'un essai de fuite d'hélium. De plus, il convient de contrôler le brasage par endoscopie, afin de vérifier la présence de corrosion caverneuse potentielle à l'intérieur de la chambre d'équilibre.

Il convient également de soumettre les machines à un essai de fuite des circuits de refroidissement.

12.2 Rotor cylindrique massif

Il convient de vérifier l'intégrité de l'isolation des conducteurs de l'arbre, des connecteurs radiaux et des bagues.

Il convient de vérifier les enroulements amortisseurs pour déceler la présence éventuelle de fissures ou de déformations, voire identifier tout déplacement hors des tôles du rotor.

12.3 Circuits de refroidissement (hydrogène/eau)

Il convient de confirmer l'étanchéité au gaz des conducteurs de l'arbre et des connecteurs radiaux des machines à refroidissement par l'hydrogène. Un essai sous vide ou d'étanchéité peut être utilisé à moins que la pression de fonctionnement ne soit établie. Se reporter à l'IEC 60034-6.

13 Rapports destinés au client et transfert

13.1 Finition extérieure

Il convient de préparer toutes les machines en cours de réparation et de les peindre afin de satisfaire aux exigences et à l'environnement du client. Il convient que la peinture n'obstrue aucun orifice d'aération, de vidange ou de graissage. Il convient que les arbres fassent l'objet d'un traitement de protection contre la corrosion.

13.2 Transport et conditionnement

Il convient de protéger correctement la machine lors de son transport à destination du client. Le blocage de l'arbre en cours de transport peut être exigé selon la taille de la machine. Il convient d'identifier clairement tout blocage pour le client.

Il convient d'expédier sans huile les machines avec graissage par huile et d'identifier clairement la nécessité d'un lubrifiant avant la mise en service.

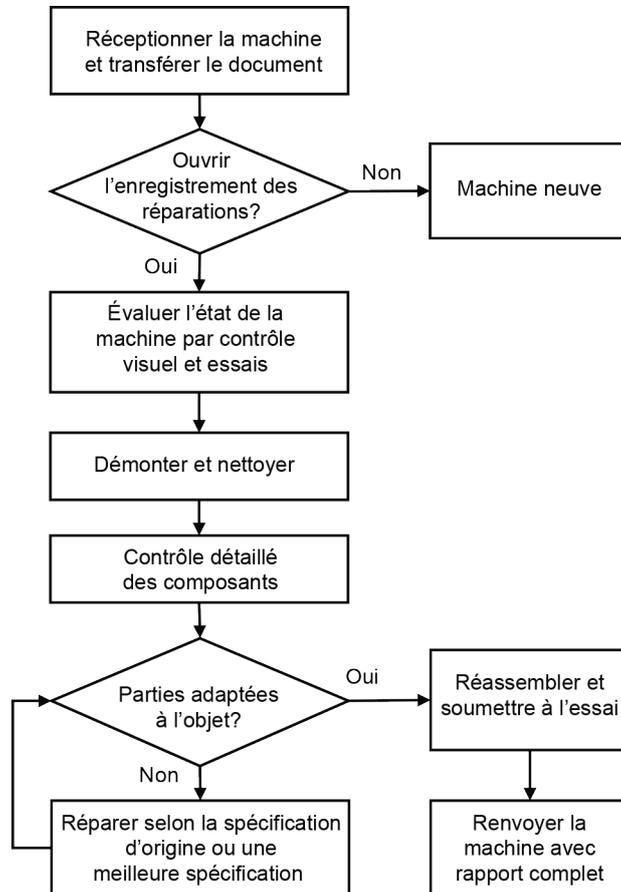
13.3 Rapports destinés à l'utilisateur

Lorsque le travail est achevé, il convient de soumettre à l'utilisateur des rapports de travail comprenant au moins les éléments suivants:

- a) les informations détaillées relatives aux défauts éventuels détectés, y compris la cause première de défaillance si elle est déterminée;
- b) les informations détaillées complètes relatives à la réparation et à la révision;
- c) la liste des parties remplacées ou remises en état;
- d) les résultats de tous les contrôles et essais;
- e) un exemplaire du contrat de l'utilisateur ou de la commande.

Annexe A (informative)

Organigramme pour la réparation, la révision et la remise en état



IEC

Cet organigramme n'est pas destiné à être prescriptif et présente une proposition de séquence du processus de réparation.

Annexe B (informative)

Extraits de normes et tableaux des tolérances

Les tableaux ci-dessous s'appliquent aux tailles de carcasse 56 à 400, et aux brides de fixation 55 à 1080 de l'IEC 60072-1, pour des machines plus grandes aux tailles de carcasse 355 à 1000 et aux brides de fixation 1180 à 2360, se reporter à l'IEC 60072-2. Des dimensions en pouces sont également fournies dans ces deux normes.

Tableau B.1 – Bouts et accouplements d'arbres (se reporter à l'IEC 60072-1)

Tolérance Désignation	Diamètre nominal de l'arbre		Tolérance	
	Au-delà de mm	Jusqu'à mm	mm	mm
j6*	6	10	+0,007	-0,002
j6*	10	18	+0,008	-0,003
j6*	18	30	+0,009	-0,004
k6	30	50	+0,018	+0,002
m6	50	80	+0,030	+0,011
m6	80	120	+0,035	+0,013
m6	120	180	+0,040	+0,015
m6	180	250	+0,046	+0,017
m6	250	315	+0,052	+0,020
m6	315	400	+0,057	+0,021
m6	400	500	+0,063	+0,023
m6	500	630	+0,070	+0,026

j6* certains pays utilisent la tolérance k6 au lieu de la tolérance j6.
 Largeur de rainure de clavette: IEC 60072-1:1991, (C.1.5) pour B01 et B06 conformément à l'ISO/R 773.

Tableau B.2 – Dimensions pour la largeur de rainure de clavette pour un ajustement taraudé des clavettes (IEC 60072-1:1991, C.1.5)

Largeur nominale de rainure de clavette B01, B06		Tolérance: (Clavettes normales N9)	
Au-delà de mm	Jusqu'à mm	mm	mm
2 jusqu'à	3	-0,004	-0,029
3 jusqu'à	6	0	-0,030
6 jusqu'à	10	0	-0,036
10 jusqu'à	18	0	-0,043
18 jusqu'à	30	0	-0,052
30 jusqu'à	50	0	0,062
50 jusqu'à	80	0	-0,074
80 jusqu'à	100	0	-0,087

Déplacement latéral de la rainure de clavette: la tolérance associée est de 0,250 mm, conformément aux informations détaillées données en C.5.2 de l'IEC 60072-1:1991.

Tableau B.3 – Tableau des tolérances relatives au faux-rond des bouts d'arbres

Diamètre nominal de l'arbre D01 et D06		Modification maximale admissible de la lecture de l'indicateur: Faux-rond de l'arbre	
Au-delà de mm	Jusqu'à mm	Option 1 mm	Option 2 mm
6	10	0,030	0,015
10	18	0,035	0,018
18	30	0,040	0,020
30	50	0,050	0,025
50	80	0,060	0,030
80	120	0,070	0,035
120	180	0,080	0,040
180	250	0,090	0,045
250	315	0,100	0,050
315	400	0,110	0,055
400	500	0,125	0,063
500	630	0,140	0,070

Valeurs limites applicables au faux-rond des bouts d'arbres: IEC 60072-1:1991, C.6.1.

Tolérances de diamètre pour les bouts d'arbres pour D01 et D06 (IEC 60072-1:1991, C.1.4).

La tolérance relative au faux-rond des bouts d'arbres doit être conforme au Tableau B.3, qui s'applique aux machines rigides à fixation par pattes et à fixation par bride. En l'absence de toute indication, les tolérances de l'option 1 s'appliquent.

Tableau B.4 – Tableau des tolérances relatives au diamètre d’emboîtement de fixation (IEC 60072-1:1991, C.1.7)

Désignation de tolérance	Diamètre nominal d’emboîtement		Tolérances Option 1 (j6<250, h6>250)	
	Au-delà de mm	Jusqu’à mm	mm	mm
j6	30	50	+0,011	-0,005
j6	50	80	+0,012	-0,007
j6	80	120	+0,013	-0,009
j6	120	180	+0,014	-0,011
j6	180	250	+0,016	-0,013
h6	250	315	0	-0,032
h6	315	400	0	-0,036
h6	400	500	0	-0,040
h6	500	630	0	-0,044
h6	630	800	0	-0,050
h6	800	1 000	0	-0,056
h6	1 000	1 250	0	-0,066
h6	1 250	1 600	0	-0,078
h6	1 600	2 000	0	-0,092
h6	2 000	2 200	0	-0,110

Tolérances relatives à un diamètre d’emboîtement (feuillure) de fixation D20 et à un diamètre D25 (en cas de seconde bride de fixation). Les tolérances données en C.1.7 de l’IEC 60072-1:1991 sont conformes au Tableau B.4 et s’appliquent aux brides de fixation des types FF, FT et F1.

Tableau B.5 – Tableau indiquant la concentricité du diamètre d’emboîtement et la perpendicularité de la face d’appui par rapport au bout d’arbre (IEC 60072-1:1991, C.7.1)

Diamètre nominal d’emboîtement		Excentricité et faux-rond des faces	
Au-delà de mm	Jusqu’à mm	Option 1 mm	Option 2 mm
40	100	0,080	0,040
100	230	0,100	0,050
230	450	0,125	0,063
450	800	0,160	0,080
800	1 250	0,200	0,100
1 250	2 000	0,250	0,125
2 000	2 240	0,315	0,160

Tolérances relatives au diamètre d’emboîtement des brides et au faux-rond des faces.

Les tolérances relatives à la concentricité des diamètres d’emboîtement D20 et D25 et de perpendicularité de la face d’appui par rapport au bout d’arbre doivent être indiquées conformément au C.7.1 de l’IEC 60072-1:1991, et applicables aux machines avec des fixations par brides des types FF, FT et F1.

Bibliographie

IEC 60034-2-1, *Machines électriques tournantes – Partie 2-1: Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

IEC 60034-2-2, *Machines électriques tournantes – Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées des machines de grande taille à partir d'essais – Complément à la CEI 60034-2-1*

IEC 60034-3, *Machines électriques tournantes – Partie 3: Règles spécifiques pour les alternateurs synchrones entraînés par turbines à vapeur ou par turbines à gaz à combustion*

IEC 60034-4-1, *Machines électriques tournantes – Partie 4-1: Méthodes pour la détermination, à partir d'essais, des grandeurs des machines synchrones à excitation électrique*

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

IEC 60034-7, *Machines électriques tournantes – Partie 7: Classification des formes de construction et des dispositions de montage (Code IM)*

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

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

IEC 60034-10¹, *Rotating electrical machines – Part 10: Conventions for description of synchronous machines* (disponible en anglais seulement)

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

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

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

IEC 60034-16-1, *Machines électriques tournantes – Partie 16-1: systèmes d'excitation pour machines synchrones – Définitions*

IEC TS 60034-16-2², *Machines électriques tournantes – Partie 16-2: Systèmes d'excitation pour machines synchrones – Modèles pour les études de réseaux*

IEC TS 60034-16-3³, *Machines électriques tournantes – Partie 16-3: Systèmes d'excitation pour machines synchrones – performances dynamiques*

¹ Cette publication a été retirée.

² En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC TS/CD 60034-16-2:2018.

³ En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC TS/CD 60034-16-3:2018.

IEC 60034-18-1, *Machines électriques tournantes – Partie 18-1: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Principes directeurs généraux*

IEC 60034-18-21, *Machines électriques tournantes – Partie 18-21: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Évaluation thermique et classification*

IEC 60034-18-22⁴, *Machines électriques tournantes – Partie 18-22: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Classification des modifications et des substitutions de composants d'isolation*

IEC 60034-18-31, *Machines électriques tournantes – Partie 18-31: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Évaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes*

IEC 60034-18-32, *Machines électriques tournantes – Partie 18-32: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Évaluation par endurance électrique*

IEC TS 60034-18-33, *Rotating electrical machines – Part 18-33: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Multifactor evaluation by endurance under simultaneous thermal and electrical stresses* (disponible en anglais seulement)

IEC 60034-18-34, *Machines électriques tournantes – Partie 18-34: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Évaluation de l'endurance thermomécanique des systèmes d'isolation*

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

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

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

IEC 60034-27-1, *Machines électriques tournantes – Partie 27-1: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectués sur le système d'isolation des enroulements*

IEC TS 60034-27-2, *Rotating electrical machines – Part 27-2: On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines* (disponible en anglais seulement)

IEC 60034-27-3, *Machines électriques tournantes – Partie 27-3: Mesure du facteur de dissipation diélectrique sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes*

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

⁴ Cette publication a été retirée et remplacée par l'IEC 61858-1:2014.

IEC 60072-1:1991, *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes – Partie 1: Désignation des carcasses entre 56 et 400 et des brides entre 55 et 1080*

IEC 60349-1, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique*

IEC 60404-1-1, *Matériaux magnétiques – Classification – Isolations de surface des tôles, bandes et lamelles magnétiques en acier*

IEEE 1068:2015, *Standard for the Repair and Rewinding of AC Electric Motors in the Petroleum, Chemical, and Process Industries* (disponible en anglais seulement)

ISO/R 773⁵, *Clavetage par clavettes parallèles carrées ou rectangulaires*

ISO 4287, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Termes, définitions et paramètres d'état de surface*

ISO 4526, *Revêtements métalliques – Dépôts électrolytiques de nickel pour usages industriels*

ISO 6158, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques – Dépôts électrolytiques de chrome pour usages industriels*

ISO 9001, *Systèmes de management de la qualité – Exigences*

ISO 20816-1, *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 1: General guidelines* (disponible en anglais seulement)

ISO 20958, *Surveillance et diagnostic des systèmes de machines – Analyse de la signature électrique des moteurs triphasés à induction*

ISO 21940-12, *Mechanical vibration – Rotor balancing – Part 12: Procedures and tolerances for rotors with flexible behaviour* (disponible en anglais seulement)

ISO 21940-32, *Vibrations mécaniques – Équilibrage des rotors – Partie 32: Convention relative aux clavettes d'arbres et aux éléments rapportés*

Association of Electrical and Mechanical Trades (AEMT), *The Repair of Induction Motors – Best practices to Maintain Energy Efficiency*, 1997 (disponible en anglais seulement)

Advanced Energy, Colon, R., *Guidelines for a Good Motor Repair*, 199

Department of Energy, USA, *Model Repair Specifications for Low Voltage Induction Motors*, 1999

Department of Energy, USA, *Motor Repair Tech Brief*, 2000

Department of Energy, USA, *Service Centre Evaluation Guide*, 1999

ANSI/EASA AR100-2015, *Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus*

⁵ Cette publication a été retirée.

EASA/AEMT, *The Effect of Repair/rewinding on Motor Efficiency*, 2003

G. Klempner, I. Kerszenbaum, “*Handbook of Large Turbo-generator Operation and Maintenance*”, Wiley-IEEE Press, 2008

G. Stone et al, “*Electrical Insulation for Rotating Machines – design, evaluation, aging, testing and repair*”, Wiley-IEEE Press, 2014

W.T. Thomson, I. Culbert, “*Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors*”, Wiley-IEEE Press, 2017

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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