

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**Rotating electrical machines –
Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant
electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed
from voltage converters**

**Machines électriques tournantes –
Partie 18-42: Essais de qualification et d'acceptation des systèmes d'isolation
électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans des
machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**Rotating electrical machines –
Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant
electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed
from voltage converters**

**Machines électriques tournantes –
Partie 18-42: Essais de qualification et d'acceptation des systèmes d'isolation
électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans des
machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Voltage effects from converter operation	10
4.1 Voltages at the terminals of the converter-fed machine	10
4.2 Electrical stresses in the insulation system of machine windings	13
4.2.1 General	13
4.2.2 Voltages stressing the phase/phase insulation.....	14
4.2.3 Voltages stressing the phase/ground insulation	14
4.2.4 Voltages stressing the turn insulation	14
5 Type II insulation systems	14
6 Stress factors for converter-fed Type II insulation systems	15
7 Qualification and acceptance tests	16
7.1 General.....	16
7.2 Qualification tests.....	16
7.3 Acceptance test.....	17
8 Qualification of turn insulation	17
8.1 General.....	17
8.2 Test methods	17
9 Qualification of ground wall insulation systems.....	19
9.1 General.....	19
9.2 Test methods.....	19
9.3 Use of 50 Hz or 60 Hz life data to predict the service life with a converter drive.....	20
10 Qualification of the stress control and corona protection system.....	21
10.1 General.....	21
10.2 Test methods.....	22
11 Preparation of test objects.....	23
11.1 General.....	23
11.2 Turn/turn samples	23
11.3 Coils.....	24
12 Qualification test procedures	24
12.1 General.....	24
12.2 Turn/turn samples	24
12.3 Coils.....	24
12.4 Stress control samples	25
13 Qualification test pass criteria	25
13.1 Turn/turn samples	25
13.2 Coil samples	25
13.3 Stress control samples	26
14 Acceptance test for Type II insulation systems (Type test).....	26
14.1 General.....	26
14.2 Acceptance test methods	26

14.3 Acceptance test pass criteria.....	26
15 Analysis, reporting and classification.....	26
Annex A (informative)	27
Annex B (informative)	29
Annex C (informative)	31
 Figure 1 – Voltage impulse waveshape parameters	10
Figure 2 – Phase/phase voltage at the terminals of a machine fed by a 3-level converter	11
Figure 3 – Possible jump voltages (U_j) at the machine terminals associated with a converter drive.....	12
Figure 4 – Maximum voltage enhancement at the machine terminals as a function of cable length for various impulse rise times for a 2-level converter.....	13
Figure 5 – Design examples.....	14
Figure 6 – Life lines of turn and mainwall insulation.....	18
Figure 7 – Example of a life curve for a Type II mainwall insulation system.....	21
Figure 8 – Example of the construction of a turn/turn test sample for rectangular conductors.....	23
Figure A.1 – Example of a simple converter voltage simulation circuit.....	27
Figure A.2 – Typical waveform generated from the spark gap oscillator	28
Figure B.1 – Representation of the phase to ground voltage at the terminals of a machine fed from a 3-level converter	29
 Table 1 – Influence of features of the converter drive voltage on acceleration of ageing of components of Type II insulation systems.....	15
Table B.1 – Contribution to electrical ageing by 1 kHz impulses from a 3-level converter as a percentage of the ageing from the 50 Hz fundamental voltage for various values of voltage endurance coefficient (n).....	30

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters

FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 60034-18-42, which is a Technical Specification, has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
2/1482/DTS	2/1502/RVC

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

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

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

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

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

The approval of electrical insulation systems for use in rotating electrical machines driven from voltage converters is set out in two Technical Specifications. They separate the systems into those which are **not** expected to experience partial discharge activity within specified conditions in their service lives (Type I) and those which **are** expected to withstand partial discharge activity in any part of the insulation system throughout their service lives (Type II). For both Type I and Type II insulation systems, the drive system integrator should inform the machine manufacturer what voltage will appear at the machine terminals in service. The machine manufacturer will then decide upon the severity of the tests appropriate for qualifying the insulation system. The severity is based on the impulse rise time, the peak to peak voltage and, in the case of Type II systems, the impulse repetition rate.

IEC/TS 60034-18-41

Type I insulation systems are dealt with in IEC/TS 60034-18-41. They are generally used in rotating machines rated at less than 700 V r.m.s. and tend to have random wound stators. In this Technical Specification, the necessary normative references and definitions are given together with a review of the effects arising from converter operation. Having established the technical foundation for the evaluation procedure, the conceptual approach is then described.

IEC/TS 60034-18-42

In this Technical Specification, the tests for qualification and acceptance of electrical insulation systems chosen for Type II rotating electrical machines are described. These insulation systems are generally used in rotating machines and tend to have form-wound coils, mostly rated above 700 V r.m.s. The qualification procedure is completely different from that used for Type I insulation systems and involves destructive ageing of insulated test objects under accelerated conditions. The manufacturer requires a life curve for the insulation system that can be interpreted to provide an estimate of life under the service conditions with converter drive. Great importance is attached to the qualification of any stress grading system that is used and testing here should be performed under repetitive impulse conditions. If the insulation system can be shown to provide an acceptable life under the appropriate ageing conditions, it is qualified for use. Acceptance testing is performed on coils made using this insulation system when subjected to a voltage endurance test.

This Technical Specification should be read in conjunction with IEC/TS 60034-18-41, which provides a background to the technology of converter drive/machine systems.

The winding insulation systems intended for converter-fed machines and converter technologies are evolving rapidly. In addition, there is on-going research into the best ways to test such insulation systems. It is expected therefore that there will be improvements in these Technical Specifications over the next few years.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters

1 Scope

This Technical Specification defines criteria for assessing the insulation system of stator/rotor windings of single or polyphase AC machines which are subjected to repetitive impulse voltages, such as pulse width modulation (PWM) converters, and expected to withstand partial discharge activity during service. It specifies electrical qualification and acceptance tests on representative samples which verify fitness for operation with voltage-source converters.

This document does not apply to:

- Rotating machines which are fed by converters only for starting.
- Electrical equipment and systems for traction.

NOTE Although this Technical Specification deals with voltage-source converters, it is recognised that there are other types of converters that can create repetitive impulse voltages. For these converters, a similar approach to testing can be used if needed.

2 Normative references

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

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

IEC 60034-18-32, *Rotating electrical machines – Functional evaluation of insulation systems – Part 18-32: Test Procedures for form-wound windings – Electrical evaluation of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

IEC/TS 60034-18-41, *Rotating electrical machines – Part 18-41: Qualification and type tests for Type I electrical insulation systems used in rotating electrical machines when fed from voltage converters*

IEC 60216-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

IEC/TS 61251, *Electrical insulating materials – A.C. voltage endurance evaluation – Introduction*

IEC 61800-4, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 4: General requirements – Rating specifications for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c. and not exceeding 35 kV*

IEC 62068-1, *Electrical insulating systems – Electrical stresses produced by repetitive impulses – Part 1: General method of evaluation of electrical endurance*

IEC 62539, *Guide for the statistical analysis of electrical insulation breakdown data*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

voltage endurance coefficient

symbol: n

exponent of the inverse power model or exponential model on which the relationship between life and stressing voltage amplitude for a specific insulation system depends

3.2

life

time to failure

3.3

stress grading material

material generally having a non-linear resistivity characteristic, applied to the endwindings of stators to reduce the maximum surface electrical stress

3.4

corona protection material

material which is used to coat a stator bar within the slot portion of the stator core to avoid slot discharges

3.5

impulse rise time

symbol: t_r

time for the voltage impulse to go from 0 % to 100 % (See Figure 1)

NOTE Unless otherwise stated, it is estimated as 1,25 times the time for the voltage to rise from 10 % to 90 %.

3.6

electrical insulation system

insulating structure containing one or more electrical insulating materials together with associated conducting parts employed in an electrotechnical device

[IEC 62068-1]

3.7

(electric) stress

electric field in V/mm

3.8

rated voltage

symbol: U_N

voltage assigned, generally by the manufacturer, for a specified operating condition of a machine

3.9

fundamental frequency

first frequency, in the spectrum obtained from a Fourier transform of a periodic time function, to which all the frequencies of the spectrum are referred

NOTE For the purposes of this Technical Specification, the fundamental frequency of the machine terminal voltage is the one defining the speed of the converter-fed machine.

3.10**steady state voltage impulse magnitude**symbol: U_a

final magnitude of the voltage impulse (see Figure 1)

3.11**peak (impulse) voltage**symbol: U_p maximum numerical value of voltage reached during a unipolar voltage impulse (e.g. U_p in Figure 1)

NOTE 1 For bi-polar voltage impulses, it is half the peak to peak voltage (See Figure 2).

NOTE 2 The peak to peak voltage, $U_{pk/pk}$ is shown in Figure 2.**3.12****voltage overshoot**symbol: U_b

magnitude of the peak voltage in excess of the steady state impulse voltage (see Figure 1)

3.13**impulse repetition frequency**

average number of voltage impulses per unit time generated by the converter (switching frequency)

3.14**jump voltage**symbol : U_j

change in voltage at the terminals of the machine occurring at the start of each impulse when fed from a converter (see Figure 3)

3.15**peak to peak impulse voltage**symbol : $U'_{pk/pk}$

peak to peak voltage at the impulse frequency (See Figure 2)

3.16**peak to peak voltage**symbol : $U_{pk/pk}$

peak to peak voltage at the fundamental frequency (See Figure 2)

3.17**partial discharge**

electrical discharge that only partially bridges the insulation between conductors

NOTE It may occur inside the insulation or adjacent to a conductor.

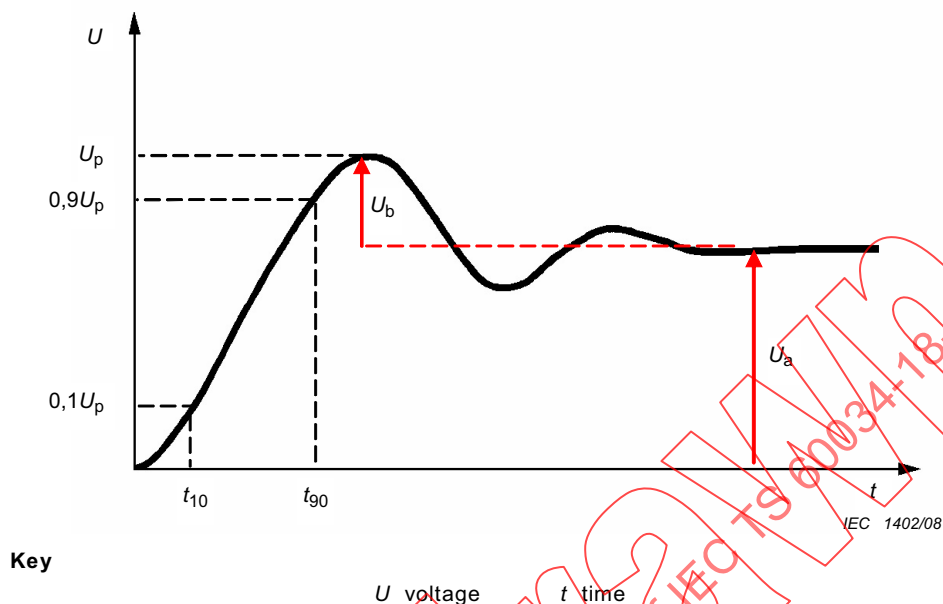


Figure 1 – Voltage impulse waveshape parameters

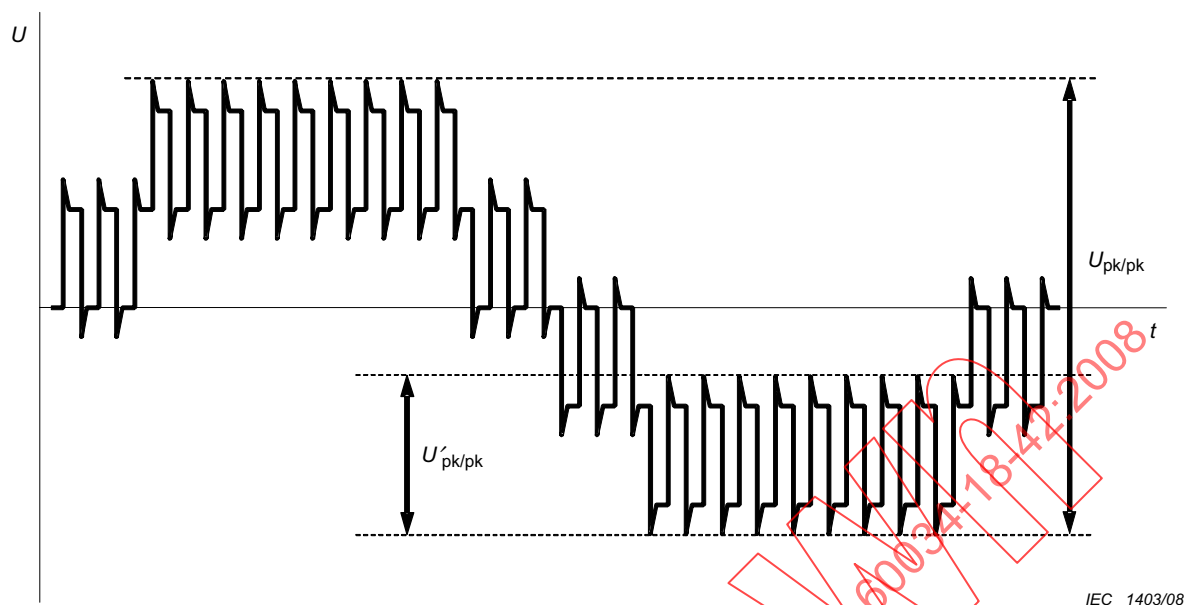
4 Voltage effects from converter operation

4.1 Voltages at the terminals of the converter-fed machine

Modern converter output voltage rise times may be in the 50 ns to 2 000 ns range due to power semiconductor switching characteristics. The voltage appearing at the terminals of a converter-driven machine depends upon several characteristics of the power drive system (see IEC 61800-4), such as

- operating line voltage of the converter
- architecture and control regime of the converter
- filters between the converter and machine
- length and characteristics of the cable between them
- design of the machine winding
- grounding system

In order to apply this Technical Specification to the qualification and testing of the insulation system of a winding, it is necessary to specify the required parameters of the voltage appearing at the machine terminals (Clause 6). In the case of 2-level or other U converters, depending on the rise time of the voltage impulse at the converter output and on the cable length and machine impedance, the impulses generate voltage overshoots at the machine terminals. This voltage overshoot is created by reflected waves at the interface between cable and machine or converter terminals due to impedance mismatch. The voltage appearing at the machine terminals when fed from a 3-level converter is shown in Figure 2. The figure shows one cycle at the fundamental frequency.



IEC 1403/08

Figure 2 – Phase/phase voltage at the terminals of a machine fed by a 3-level converter

Two examples of the maximum change in voltage at the impulse frequency, U_j , are shown in Figure 3. This parameter is important in defining the voltage enhancement that can occur across the first or last coil in the stator. Although the smaller U_j in Figure 3 is the most common instantaneous voltage change occurring at the machine terminals, there is a possibility that on rare occasions this jump in voltage may occur at the moment of switching between stages, in which case the larger of the two voltages shown in Figure 3 can occur.

Examples of the enhancements that are produced for various rise times and cable lengths in the case of a 2-level converter are given in Figure 4, where the worst case is shown, arising from an infinite impedance load. In this case, the enhancement to the voltage for an impulse rise time of 1 000 ns is insignificant below about 15 m and only exceeds a factor of 1,2 when the cable length is greater than 50 m.

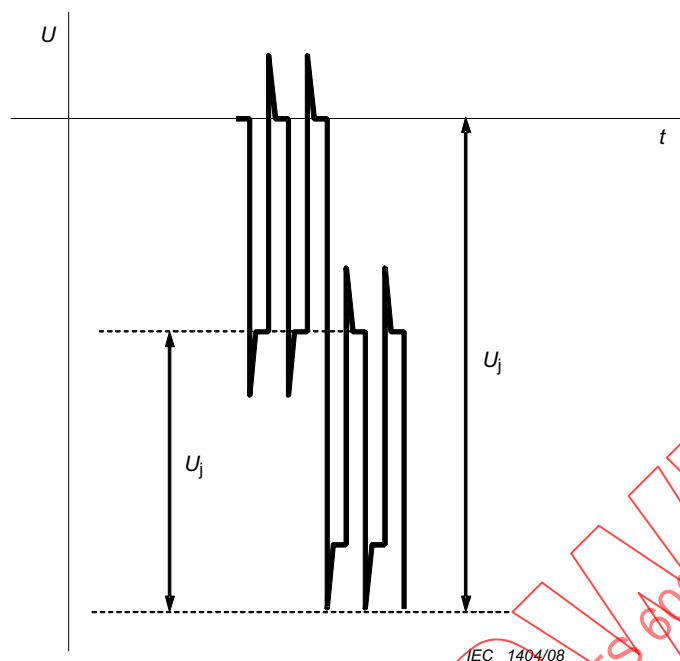
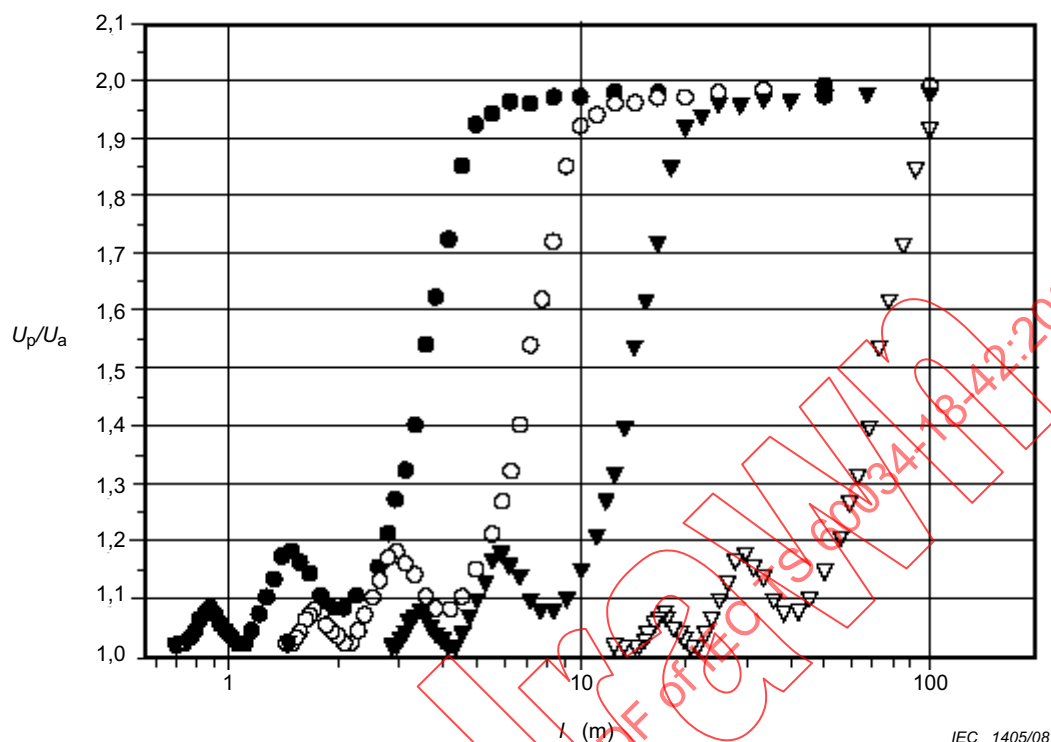


Figure 3 – Possible jump voltages (U_j) at the machine terminals associated with a converter drive



Key

- $t_r = 50 \text{ ns}$
- $t_r = 100 \text{ ns}$
- ▼ $t_r = 200 \text{ ns}$
- ▽ $t_r = 1\,000 \text{ ns}$
- l / cable length

Figure 4 – Maximum voltage enhancement at the machine terminals as a function of cable length for various impulse rise times for a 2-level converter

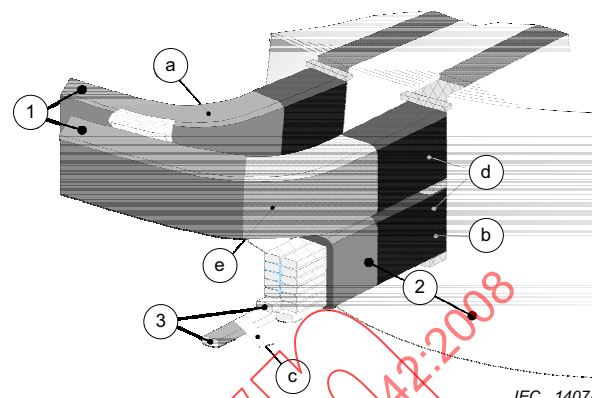
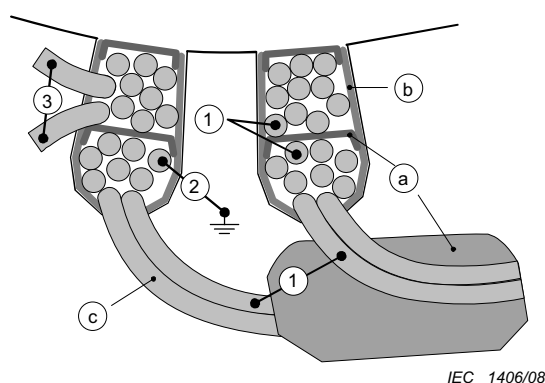
4.2 Electrical stresses in the insulation system of machine windings

4.2.1 General

If a winding experiences short rise time voltage impulses with significant magnitude, high voltage stresses will be created in the following locations (Figures 5a and 5b):

- between conductors in different phases,
- between a conductor and ground,
- between adjacent turns, generally in the line-end coil.

Due to space and surface charge creation within the insulation components, the electric stress is not only defined by the instantaneous voltage itself but also by the peak voltages that have been stressing the insulation previously. Generally, it has been shown by experience that, within certain limits valid for drive systems, the stressing parameter is the peak/peak voltage. This is also the reason why a unipolar voltage produces the same stress as a bi-polar voltage having a peak/peak voltage of the same value.



Key

- a phase insulation /endwinding insulation
- b ground insulation
- c turn insulation
- d slot corona protection
- e stress grading

- 1 phase to phase
- 2 phase to ground
- 3 turn to turn

Figure 5a – Example of a random wound design

Figure 5b – Example of a form-wound design

Figure 5 – Design examples

4.2.2 Voltages stressing the phase/phase insulation

The maximum voltage stress on the phase/phase insulation is determined by the design of the winding and by the characteristics of the phase/phase voltage.

4.2.3 Voltages stressing the phase/ground insulation

The maximum voltage stress on the phase to ground insulation is determined by the design of the winding and by the characteristics of the phase to ground voltage.

4.2.4 Voltages stressing the turn insulation

The voltage stressing the turn insulation is determined by the jump values of the phase to ground voltage (amplitude and rise time) and by the design of winding (number of coils, number and length of the turns). If this voltage is not known, it may be estimated to be the phase to ground jump voltage divided by the number of turns (for a normal coil) or layers of the coil (for transverse coils). There is a further enhancement which occurs due to the travelling wave along the conductor.

5 Type II insulation systems

If any part of an insulation system is likely to have to withstand PD during its life, it is defined to be Type II and should therefore contain materials that resist PD. Typically, machines with a rated voltage ≥ 700 V use Type II insulation systems. Manufacturers usually assign a rated voltage to a machine based on power frequency. This assumes that voltage from the power supply is 50 Hz or 60 Hz sinusoidal. In the case of machines driven from converters, the conventional definition of voltage rating is no longer applicable, although the manufacturer may still assign a rated voltage for 50 Hz or 60 Hz operation and put it on the rating plate on the machine. The rating of the insulation system for converter operation should be defined

using the stress factors under which its qualification was achieved. The power frequency rated voltage assigned by the manufacturer to the machine may not be appropriate to the insulation system when powered from a converter.

6 Stress factors for converter-fed Type II insulation systems

The converter drive integrator should specify to the machine designer the voltage that will appear at the machine terminals. This information should be included in the purchase specification, in addition to the traditional parameters such as rated voltage, thermal class, humidity, etc. Specifically, the limiting values are to be defined for the following parameters of the voltage that appear at the machine terminals.

- a) Fundamental and impulse voltage repetition frequencies at the machine terminals.
- b) Peak to peak voltages of the fundamental and repetition frequencies as well as the jump voltages that are expected to occur at the machine terminals.
- c) The impulse rise time, t_r .

Table 1 gives an indication of the significance of the features of the machine terminal voltage to the ageing of components of a Type II insulation system. In machines having Type II insulation systems, the main wall, phase to phase and turn to turn insulation materials are generally based on combinations of organic and inorganic materials. For stators operating above 700 V, there may be slot corona protection present, which is designed to provide a grounded screen to the insulated stator winding in contact with the slot wall. The surface of the insulation on the conductor is subject to a stress concentration as it emerges from the slot and, for higher voltage machines, it may be treated with stress grading material to avoid the occurrence of surface arcing. These five components (turn to turn, mainwall, phase to phase, slot corona and stress grading) constitute a typical Type II insulation system. Phase to phase voltages are present where two coils are in contact in the same slot. However, in this case there exist two layers of mainwall insulation, usually separated by an insulating spacer, and so the voltage stress is not considered to be of significant magnitude to merit testing of phase to phase insulation systems. No specific testing is therefore recommended for phase/phase insulation. The insulation components assessed in qualification and acceptance tests are shown in Table 1.

Table 1 – Influence of features of the converter drive voltage on acceleration of ageing of components of Type II insulation systems

Insulation component	Fundamental frequency	Impulse repetition frequency	Fundamental frequency pk/pk voltage	Jump voltage	Impulse repetition frequency pk/pk voltage ($U'_{pk/pk}$)	Impulse rise time
Turn to turn insulation	○	●	○	●	○	●
Main wall insulation	●	○	●	○	○	○
Corona protection layer and stress grading	○	●	●	●	●	●

NOTE ○ Less significant ● More significant

For insulation systems designed for use under power frequency supply, the long and short-term effects of rated line-to-ground voltage across the mainwall insulation and along the length of the stress grading are of principal concern. The turn insulation is generally specified by the maximum short rise-time surge requirement of the design; such surge events are generally of very short duration and are relatively infrequent compared with the impulse repetition rate. For this reason, the acceptance requirements are generally satisfied by the ability of the mainwall winding to withstand a power frequency withstand test and the turn

insulation to withstand a surge test. The ability of the system to meet the design life requirements is usually satisfied by longer-term voltage endurance testing at 50 Hz or 60 Hz. This endurance test allows the designer to establish the long-term capability of the mainwall insulation system.

In the case of converter-fed systems, the more complex voltage waveform produced by the drive will provide a different stress distribution in the winding. The mainwall, stress grading and corona protection systems are affected by the magnitude of the voltage overshoot, U_b , the rate of rise of voltage and the impulse voltage repetition rate. The last of these may increase dielectric heating in the mainwall insulation, the corona protection layer and the stress grading material. As the rise time of the impulses decreases, the voltage stress usually increases on the insulation between adjacent turns on the line end coil of multi-turn coils. The combination of these factors and their effect on the insulation system as a whole are extremely difficult to quantify.

7 Qualification and acceptance tests

7.1 General

There are two stages to the testing of Type II electrical insulation systems for machines fed from converter drives. The first stage is qualification of the mainwall insulation and turn insulation systems. Each system will be defined by each manufacturer's unique design rules governing parameters, such as, insulation materials, acceptable stresses, stress control materials and application techniques, processing routes and dimensional guides. It is these design rules that are being qualified. For qualification of Type II mainwall insulation systems, coils or bars are subjected to accelerated electrical ageing to determine an electrical life curve. A method of calculating life for converter-fed systems using data from power frequency voltage endurance tests is also possible in some cases. Separate testing is carried out for the stress control system and the turn insulation. If it can be shown that the turn insulation or the mainwall insulation is not expected to experience PD activity during service, the voltage endurance testing of that part of the insulation system may be omitted.

The second stage is an acceptance test. In this test, complete coils made to production standard are subjected to a 50 Hz or 60 Hz voltage endurance test. It is performed by agreement between the purchaser and manufacturer.

7.2 Qualification tests

For the purposes of this Technical Specification, qualification testing is performed to qualify the materials, design rules and processing of an insulation system to resist PD in a winding under a given set of stresses. These tests are based on the general procedures for functional evaluation of insulation systems described in IEC 60034-18-1, according to which the insulation system intended to be used under converter conditions (candidate system) is compared to an insulation system having service experience under line-fed conditions or in converter operation (reference system).

For Type II insulation systems, the qualification of the mainwall and turn insulation systems is through voltage endurance testing at room temperature or at elevated temperature (see for example IEC 60034-18-32). By using different over-voltages or frequencies, a life curve may be established (Clause 9). Note that interactive ageing mechanisms between turn and mainwall insulation are ignored in this document. On the basis of the following assumptions, the life of the insulation system under impulse conditions may be estimated from a life curve, even though it has been derived from sinusoidal voltage testing.

- a) The ageing rate due to impulse and power frequency voltages is the same, provided the peak/peak values and the number of fundamental voltage cycles are the same.
- b) The lifetime exponent, n , is not frequency dependent below 1 kHz.

Qualification of the stress grading and corona protection systems is undertaken through a separate ageing test in which a representative sample of insulated winding in a simulated slot is exposed to impulse voltage stresses similar to those expected in service for a period of time to determine if any visible damage occurs, such as discolouration or burning.

The use of service experience as an alternative to qualification testing is subject to agreement between purchaser and manufacturer.

7.3 Acceptance test

In the case of Type II insulation systems, production coils in simulated slots are subjected to a 50 Hz or 60 Hz sinewave voltage, applied across the mainwall insulation for 250 h with a peak/peak value equal to the 4,3 times the maximum peak to peak voltage appearing across the mainwall insulation under converter operation (Annex C). This is a quality test of the mainwall insulation and a withstand does not imply an acceptable service life with a converter drive. However, it is feasible to undertake it within the contract period and thereby establish the absence of major flaws in the production system.

8 Qualification of turn insulation

8.1 General

The turn insulation in the coils of a machine winding operating from a sinusoidal power supply is generally specified according to the requirement to withstand discrete voltages of high magnitude and short duration. The concerns governing turn insulation design are distinct from those for the main wall insulation. The materials, dimensions and processes used in the construction of turn insulation may be different from those of the main wall.

Depending on the expected phase/ground voltage in the machine, qualification of the turn insulation may be required. The principal features of this voltage in regard to ageing of the insulation between turns are the impulse rise time and magnitude of the jump voltage. When regarded as part of the overall coil design for the winding, the turn insulation also forms part of the mainwall insulation and contributes to the ageing curve described in Clauses 7 and 9.

In the majority of sinusoidal voltage applications, the insulation between turns will not be stressed significantly during service. Its principal role is to withstand occasional voltage surges or similar events. However, as the rise time of the impulses decreases, the electrical stress associated with the jump voltage begins to shift to the regions between turns, particularly at the turn corners. This can cause thermal and electrical ageing of the turn insulation in service. The stress between turns intensifies with decreasing rise time, increasing the probability of partial discharges between turns. The effect of the expected phase/ground voltage on the turn insulation will also be dependent on the number of turns in the coil. In line-fed operation, stochastic high impulse voltages occur which are absent under converter operation. Therefore, the turn insulation will not get aged electrically in line-fed operations but it may in converter operations, due to the high impulse repetition frequency.

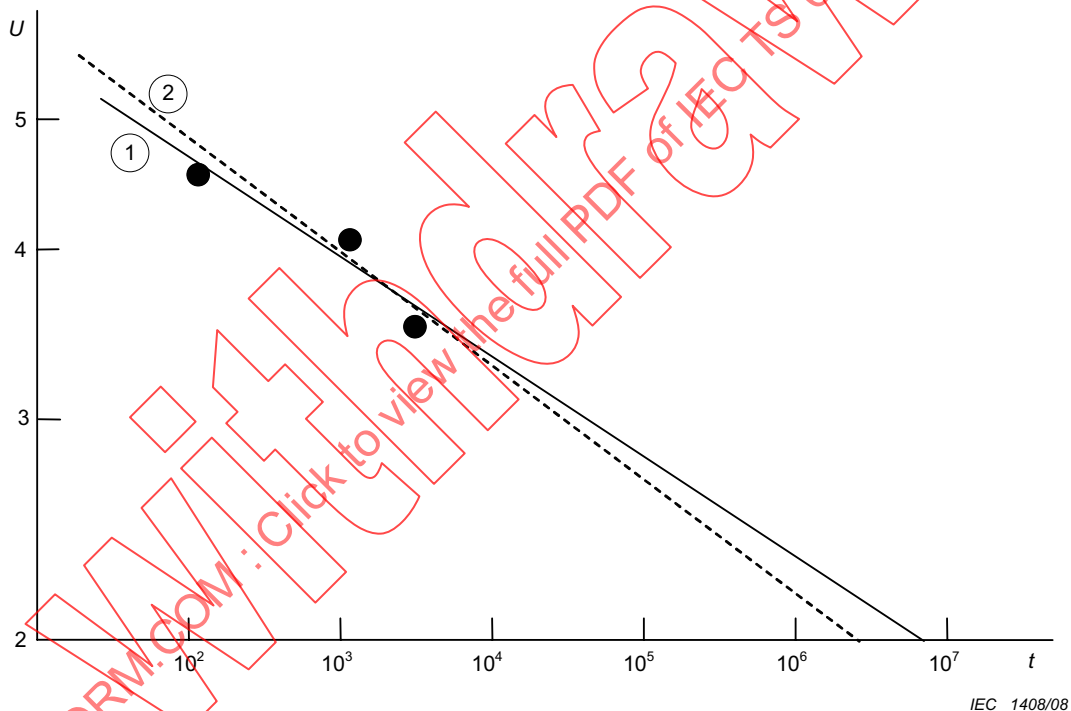
In general, experience indicates that the stress intensification is greatest between the first and second turns in line-end coils but it may be possible for waveform reflection to initiate ageing at sites further into the winding.

8.2 Test methods

The purpose of testing is to show that the electrical life of the turn insulation in service is acceptable. That is to say, it is expected to last as long as, if not longer than, the mainwall insulation. Samples will consist of two single turns that are formed as described in 11.2. It is expected that the manufacturer will know what is the maximum peak/peak voltage to appear between turns in a particular service application. This value should be increased by a safety factor, in accordance with the manufacturer's design rules, to give the basic peak/peak test voltage, U_{turn} . If the maximum peak/peak voltage in service is unknown, it should be assumed

that the complete jump voltage may fall across the first coil and so the test voltage is the jump voltage divided by the number of turns, multiplied by a safety factor. In a transverse design of coil, U_{turn} is taken to be the jump voltage divided by the number of layers and multiplied by a safety factor. An additional enhancement may be included to allow for the voltage developed along a conductor arising from the travelling wave that is propagated along it. This enhancement varies with rise time of the impulse.

The testing is in two stages. In the first stage, U_{turn} is applied between the two conductors of the test sample as a 50 Hz or 60 Hz sinusoidal voltage for 60 s. If partial discharge is absent, it may not be necessary to perform qualification testing. If partial discharge activity is detected, a voltage endurance test is to be performed. This will consist of applying repetitive impulses as described in IEC 62068-1 or a sinusoidal voltage at (or above) the repetition frequency of the converter between the two conductors in the test sample until electrical breakdown occurs. Suggested examples of voltage are $4,5 U_{\text{turn}}$, $4,0 U_{\text{turn}}$ and $3,5 U_{\text{turn}}$. The number of test voltages should be at least three. Five samples should be tested at each voltage. The time to failure may be calculated using any commonly used statistical methods (see IEC 62539). A graph may then be plotted showing the time to failure of the turn to turn insulation as a function of test voltage, as shown in Figure 6, where the scales are logarithmic.



Key

Line 1 life line for turn insulation

Line 2 life line for mainwall insulation

t time to breakdown

U test voltage/ U_{turn} for line 1 or test voltage/ U_N for line 2

Figure 6 – Life lines of turn and mainwall insulation

This life line may then be compared with the life line for the mainwall insulation and should show a longer projected lifetime at service voltage. Since it is not practicable to extrapolate over such a large distance, it is enough that the turn insulation life curve should be equivalent to, or better than, that for the mainwall. Equivalence is supported by any partial overlap of the 90 % confidence intervals of life values and voltage endurance coefficients of the life lines for

turn and mainwall insulation for ageing times longer than 1 000 h. It is recognised that a satisfactory life curve may not be available for comparison purposes. In this case, the manufacturer is responsible for providing a satisfactory design.

9 Qualification of ground wall insulation systems

9.1 General

Acceleration of the ageing process that leads to electrical failure will be a desirable feature of the test method used. Care should be taken to avoid introducing a failure mechanism that would not be present in service. Where acceleration is produced by an increase in voltage excursion (peak to peak), the technique may change the level of partial discharge activity occurring within each impulse. Alternatively, the repetition frequency of the test voltage may be increased to a level above the fundamental frequency of the power drive system in service. This is intended to retain the partial discharge activity level and achieve acceleration through an increased repetition rate. In this approach, there may be an increase in heating of the insulation due to frequency dependent losses in the material and the stress grading system but this can be reduced by forced air cooling. Localised hot spot temperature measurements are required in the region where stress control systems are used to ensure that the insulation material does not exceed the assigned temperature for its thermal class.

Temperature monitoring may be performed using any convenient technique. Temperature sensitive paints or films are simple but not very accurate while thermocouples may have electromagnetic pick-up and HV isolation difficulties. A non-invasive measurement technique, such as infrared thermography, enables surface hot spots to be identified and quantified simply. These limit the operating conditions for the machine. Monitoring of the ageing process may be performed at appropriate intervals by measuring electrical parameters, such as partial discharge activity, loss tangent and permittivity. These tests may be performed at 50 Hz or 60 Hz for diagnostic purposes.

9.2 Test methods

Techniques for accelerated voltage ageing are described in IEC 61251, IEC 62068-1 and IEC 60034-18-32. They are based on a comparison of life tests performed on the candidate system and on a reference system, already assessed for service life. A commonly used electrical life model is

$$L = k \times U^{-n}$$

where:

n is the voltage endurance coefficient;

L is the life of the test object;

U is the applied periodical peak voltage;

k is a constant.

The technique requires testing at three or more over-voltages to enable a graph of log(applied voltage) to be plotted against log(time to failure). The test voltages should be chosen to produce mean times to failure ranging from 100 h to 3 000 h. The candidate and reference systems should be tested under the same conditions, which may involve any prescribed voltage waveform. Statistical analysis should be performed according to the procedures given in IEC 62539 in order to establish the mean life under each test condition. The voltage endurance coefficient is the slope of the regression line (see IEC 60216-3). The life line of the candidate insulation system should be at least equivalent to that of a reference system tested at 50 Hz or 60 Hz which has been shown to give an acceptable service life. Equivalence is supported by any partial overlap of the 90 % confidence intervals of life values and voltage endurance coefficients of the life lines for candidate and reference systems for ageing longer

than 1 000 h. Failure to fit a linear regression in a log/log co-ordinate system usually indicates that the ageing mechanism has changed within the test stress range.

For mainwall and turn insulation, many publications show no essential influence of the voltage frequency on the number of impulses to failure or the number of voltage cycles to failure. In many cases, therefore, the following formula can be used to calculate the expected life for a given peak voltage.

$$L_2 = L_1 \times f_1 / f_2$$

where

L_2 is the life at frequency f_2 ;

L_1 is the life at frequency f_1 .

Combining the frequency and voltage dependent ageing formulae leads to the general expression

$$L_{f2,u2} = L_{f1,u1} \times (U_1/U_2)^n \times (f_1/f_2)$$

where

$L_{f2,u2}$ is the life at frequency f_2 and voltage U_2 .

$L_{f1,u1}$ is the life at frequency f_1 and voltage U_1 .

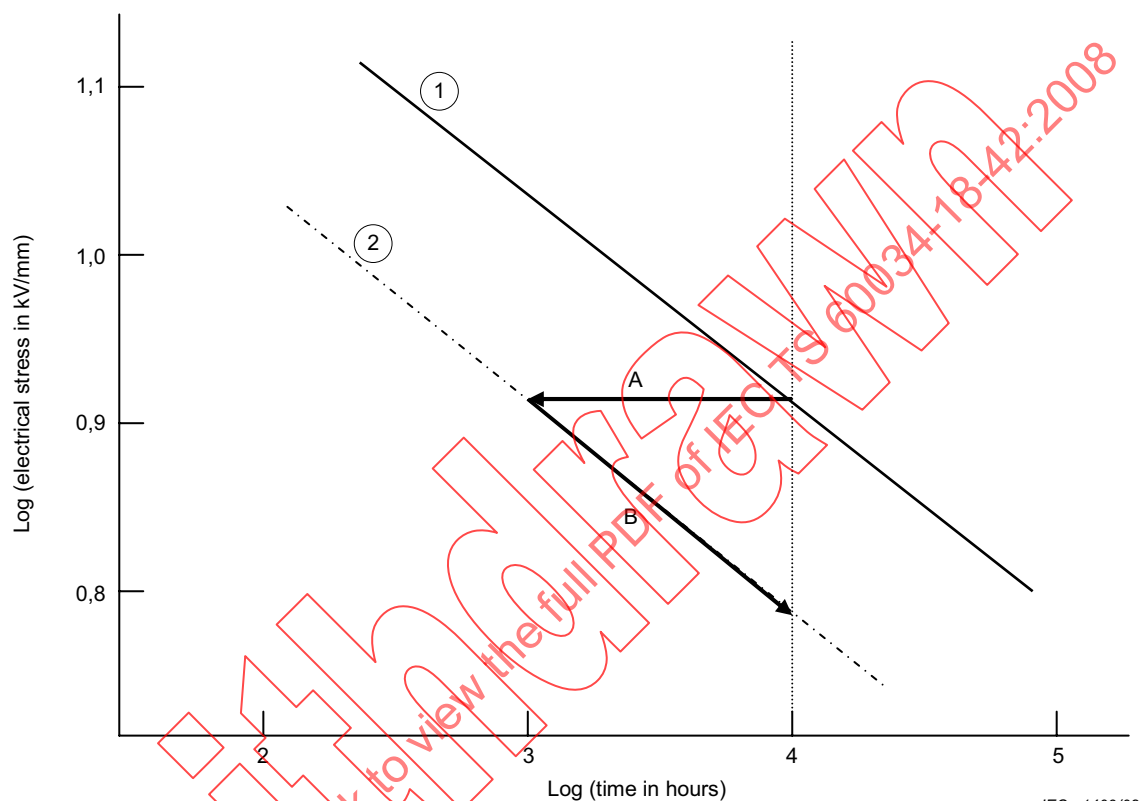
Using this formula, testing at different frequencies and voltages is possible for mainwall and turn insulation. Experimental evidence exists to support the validity of this approach in calculating life under sinusoidal and impulse voltages at least up to 1 kHz. However, the frequency range over which it is maintained for any particular system may be unknown and for a rigorous application of the formulae (see Annex B), the variation of the life exponent “n” with frequency should be known. In the event that the exponent “n” is unknown, a rough calculation may be performed on the basis of a range for “n” in epoxy/mica systems of $10 < n < 12$. The dominant factor in voltage ageing is the peak to peak voltage at the fundamental frequency. This does not coincide with the peak to peak of the fundamental voltage obtained from the Fourier transform of the supply waveform. For insulation systems fed from converters, there is a contribution to ageing from the impulse frequency jump voltages. However, most converter drives for Type II insulation system machines are at least 3-level and this results in less ageing than from a 2-level system because the impulse frequency peak to peak voltages are smaller. Nonetheless, it may be necessary to take account of the smaller ageing effect produced from impulse frequency peak to peak voltage transitions and this may be calculated using the procedure described in Annex B, based on the general life expression above.

A calculation of the contribution to ageing from the impulses at the repetition frequency for values of “n” in the range 8 to 12 and for various overshoot factors is shown in Table B.1 for the case of a 3-level converter. A repetition frequency of 1 kHz is representative of present day practice. For values of “n” equal to 10 or more, the contribution to ageing from the impulse frequency voltage is insignificant at 1 kHz.

9.3 Use of 50 Hz or 60 Hz life data to predict the service life with a converter drive

A typical life curve for a Type II insulation system derived from 50/60 Hz voltage endurance testing is shown in Figure 7. The log (mainwall electrical stress in kV/mm) is plotted as a function of log (time to failure) of the mainwall insulation on a stator bar. The life curve is usually a straight line and the manufacturer should know from service experience that the curve represents a design that will provide an acceptable service life. For converter-fed machines, the electrical stress is calculated on the basis of the peak to peak voltage occurring in service across the mainwall insulation.

If it is expected that the same insulation system may be subjected to a fundamental frequency which is, for example, 10 times greater than that used to derive the curve, it is assumed that the appropriate life curve for this operating condition will be translated to the left (arrow A) by one decade in time, as shown. The manufacturer can then compensate by reducing the mainwall insulation stress to move down this curve and thereby restore the life to the original value (arrow B). Alternatively, if the operating frequency is one tenth of that used to derive the life curve, the line will be translated to the right by a decade in time and the stress may be increased to restore the life to the original value.



IEC 1409/08

Key

- 1 Life curve derived from power frequency endurance testing
- 2 Life curve predicted for the same insulation under converter drive at $\times 10$ frequency

Figure 7 – Example of a life curve for a Type II mainwall insulation system

10 Qualification of the stress control and corona protection system

10.1 General

If a stress control system is to be applied to the endwindings, it will be necessary to qualify it. For this purpose, similar voltages and repetition frequencies to those appearing in service are required. The materials, if based on semi-conductive components such as silicon carbide, have a non-linear resistivity. Others have a linear resistivity. Their field controlling ability is influenced by frequency, electric stress, temperature and time. In other cases, the stress grading may be achieved by capacitive means. For test purposes, the peak/peak voltage, the repetition rate and the impulse rise time are chosen by the manufacturer to ensure that the expected conditions in service are matched or exceeded in severity.

The effect of increasing frequency is to shorten the distance over which the surface electric stress on the endwinding is stress graded and thereby result in elevated stresses. When these exceed a level of about 500 V/mm, arcing activity can occur which erodes the surface or produces tracking (conductive carbonaceous paths).

The effect of increased electric stress is to reduce the resistivity of stress grading material, thereby fulfilling its primary purpose. Unfortunately, the effect is also to increase the heat dissipation. For converter-fed machines, there is a conflict between providing a low enough resistivity to grade the voltage and a high enough resistivity to keep the heat dissipation within acceptable limits. A surface temperature rise in the endwinding region may be as little as 10 K or as high as 40 K for a converter-fed machine where there is no forced cooling. The dominant influence on the temperature of the insulation is expected to be the heating from the copper losses but the self-heating of the stress grading material can make a significant contribution. When assessing the limiting temperature at which the machine can operate, it is necessary to take account of this factor as it effectively reduces the maximum rated temperature of the machine.

It has been found that, for non-linear stress grading materials for example, there are two principal effects of temperature. The first is an immediate increase in the conductivity of the material at a particular voltage stress. Of similar significance is the reduction in slope of the conductivity/electric stress curve on which successful performance of silicon carbide-based stress grading material depends. In some cases the non-linearity of the conductivity may be lost altogether.

The second effect may be a permanent reduction in conductivity from this temperature excursion. After a single short-term period at 155 °C for as little as a few hours, a return to 20 °C can show a significant reduction in conductivity. After a longer period at 155 °C, say 500 hours, the stress grading performance may be partially restored. This is attributed to post-curing of the resin in the stress grading material that shrinks and binds the silicon carbide particles closer together.

The corona protection layer is used to prevent slot discharges and may be based on carbon loaded tapes or paints. At the beginning of the endwinding region, there may be problems with the electrical contact to the stress grading material. Where a good electrical contact is required in the design, a high contact resistance can result in overheating and discharge activity, which can degrade the materials and also the performance of the stress control system on the endwindings. Where capacitive coupling is used, no direct connection is required between the corona protection layer and the stress grading material.

Design of the stress control system is a crucial element in achieving successful performance. The factors governing this are the choice of materials and the application technique.

10.2 Test methods

The aim of qualification testing of the stress control system is to provide assurance that it will operate satisfactorily for the required service life. A satisfactory performance is one in which surface arcing is avoided and the temperature rise on the surface of the endwinding does not raise the mainwall insulation above its assigned temperature.

The two major influences on the life of the stress grading system are the applied voltage and the temperature. Ideally, a test is required in which sample bars, prepared with a corona protection layer and stress grading material as appropriate, are arranged in simulated slots and subjected to voltage impulses that are at least 1,3 times the magnitude of the voltages to be withstood in service. The bars may be shorter than in the service machine in order to reduce the capacitive load on the impulse generator. However, they should replicate all other design features. The test should continue for 100 h.

The cost of laboratory equipment to provide the required HV impulses may be significant. Furthermore, it would not generally be practicable to use the converter intended for service

application to apply the impulses. A proposal is made for a simple screening test which experience has shown can quickly reveal deficiencies in a stress grading system. It avoids the need for a commercial converter drive and is based on an impulse repetition circuit using a spark gap. An example of a circuit that has been used for testing bar samples is given in Annex A.

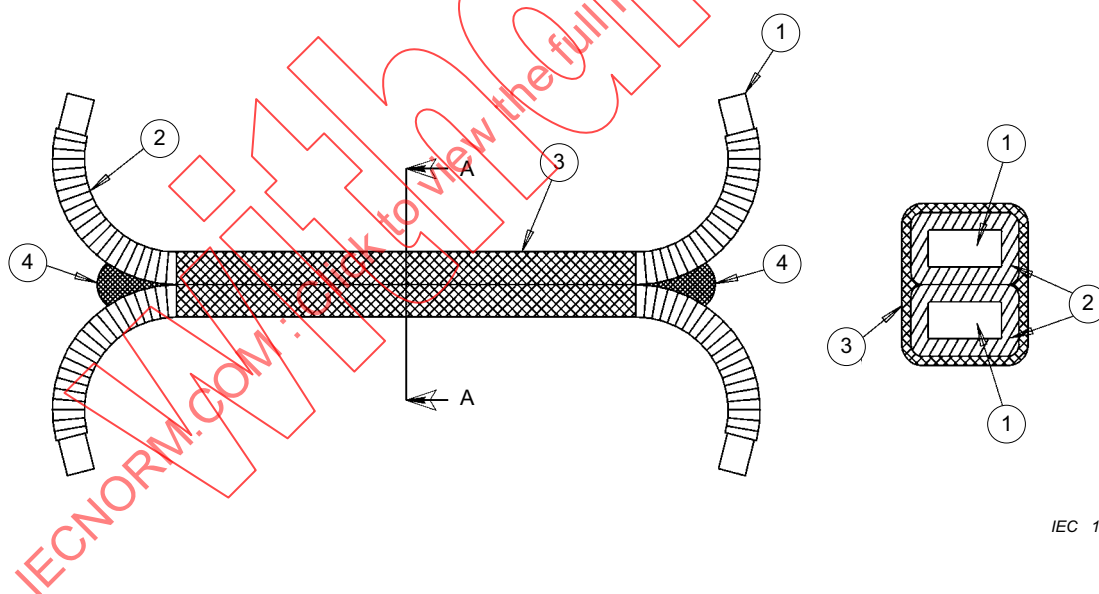
11 Preparation of test objects

11.1 General

The test objects in this clause are for qualifying the performance of the insulation components described in Table 1. The samples are made from the same materials and processes that are used to make service coils.

11.2 Turn/turn samples

The turn/turn samples should represent the insulation system used in the machine in terms of materials and dimensions. Pairs of insulated conductors are held together (Figure 8) with the terminals splayed apart and processed according to production standards. The insulated conductors should be in contact along the length of the straight portion to simulate the contact between turns in a coil. To maintain this contact it may be necessary to process the samples using pressing operations and/or VPI, as required by the design and materials. Round wires may require a different construction, such as twisted pairs impregnated to production standards. The test samples for turn insulation in random wound machines are described in IEC/TS 60034-18-41.



Key

- 1 Copper conductor
- 2 Turn insulation
- 3 Binding tape
- 4 Non-conductive, one-part silicone filler (or equivalent)

Figure 8 – Example of the construction of a turn/turn test sample for rectangular conductors

The bend formed in the conductors should be no more severe than the smallest radius to be encountered in the production coils. A flexible barrier such as a polyimide film should be used between the splayed conductors if there is a likelihood of an electrical failure being introduced at this point which would not occur in service.

11.3 Coils

To qualify the mainwall insulation and stress control system to be used in the stator, testing of coils built to production standards and fitted into representative slots is undertaken. In this case, the test objects should be made to the full manufacturing specification for a production machine but may be of reduced slot length so that the capacitive load is minimised.

12 Qualification test procedures

12.1 General

It is not practicable to design a single test method that simulates all the interactions between the various insulation components shown in Table 1. For example, to obtain a life curve for the mainwall insulation system by applying over-voltages would subject the stress grading system to excessive stress. Qualification has therefore been divided into separate test procedures. In all cases, the power supplies should be chosen to provide the required voltage, repetition rate and rise time at the sample terminals.

The aim is, firstly, to establish the life curves of the mainwall and turn insulation from which the expected lives may be calculated when the machine is driven from a converter supply in service. It is recognised that PD activity may take place between the turn and mainwall insulation. Since the phase to ground insulation includes the turn insulation, the qualification procedure includes this interactive effect. Ageing is performed by the application of electrical stress at an elevated voltage or frequency or both. The voltage waveform used for ageing may be sinusoidal or impulsive in the case of turn/turn or coil samples. The end-point is to be electrical breakdown. There should be a sufficient number of samples to achieve a statistically valid outcome to the test. The second aim is to establish that the stress control and corona protection systems are suitable for service. Testing is undertaken using an impulse waveform.

12.2 Turn/turn samples

The test samples for the candidate turn insulation system should conform to the manufacturer's design, materials and construction used for production coils. It is recommended that at least 5 turn pairs be tested at each test voltage under ambient conditions. Test samples should be separated to prevent electrical flashover between the leads.

Partial discharge testing is undertaken initially on five samples at the maximum expected turn/turn peak/peak service voltage, multiplied by a safety factor (U_{turn}). The test voltage may be sinusoidal and applied between conductors at a frequency of 50/60 Hz under ambient conditions. If PD activity is detected within 60 s, a life line should be determined by voltage endurance testing. The voltage endurance testing should be performed as described in 8.2 using no fewer than three applied voltages in order to construct a life curve for the turn insulation. If it can be established that no partial discharge activity will occur in service between neighbouring turns in a coil, it may not be necessary to test turn/turn samples.

12.3 Coils

The purpose of the test is to establish the life curve for the mainwall insulation using elevated voltage and/or frequency. At least three voltages or frequencies should be selected and the end-point is when breakdown of the insulation takes place. A calculation is performed according to 9.2 to estimate the life under converter drive and this is compared with the values derived from an accepted life curve, i.e. one that has been derived from an insulation system that has been shown to provide an acceptable service life under power frequency or

other frequency operation. A minimum of 5 samples should be tested at each test condition. In order to reduce the capacitive load on the test supply, the samples may be of reduced length but otherwise similar to the coils or bars used in service. If it can be established that no partial discharge activity will occur in service across the mainwall insulation in a coil during converter operation, it may not be necessary to qualify the mainwall insulation system.

It is recognised that, where stress grading systems are in use on endwinding insulation, they may be subjected to an unacceptable severity during life testing of complete coil systems at elevated voltages. For this reason, the coils may be tested with any stress relieving measure, such as stress cones or additional layers of insulation, in order to ensure that failure occurs only in the mainwall insulation. The stress grading system may be repaired during the test period.

12.4 Stress control samples

Where a stress control system is to be used in the region of the endwindings, samples should be made to the requirements of 9.2 and mounted in representative or simulated grounded slots. They are then subjected to a 100 h impulse voltage test which satisfies the requirements given in 9.1. Testing should be performed at room temperature and also at the maximum temperature at which the machine is expected to operate in service. The voltage impulses should be at least 1,3 times the magnitude of the voltages to be withstood in service. In addition, the rise time should be at least as small and the repetition rate at least as large as expected in service. A sufficient number of samples should be tested to provide a statistically valid outcome. As a guide, it is recommended that at least five samples of stress graded region be tested at each temperature.

The region of insulation outside the simulated grounded slot should be scanned for temperature hot spots using infrared thermography. Testing should also be performed under the same conditions inside a dark room to establish that no arcing takes place on the surface of the endwinding. Experience has shown that if surface discharges are present, they may be identified visually after a period of about 20 min.

13 Qualification test pass criteria

13.1 Turn/turn samples

If the application of U_{turn} between conductors does not give rise to partial discharge activity in any of the five samples tested, the insulation may not need to be qualified. If PD activity is detected in this test in one or more samples, the turn insulation life line should be compared with that of the mainwall insulation. If the value of the voltage endurance coefficient and the lifetime at a selected percentile (normally 50 % or mean values) are equivalent to those of the mainwall insulation tested at 50 Hz or 60 Hz that has been qualified for converter duty, the turn insulation is qualified. Equivalence is supported by any partial overlap of the 90 % confidence intervals of life values and voltage endurance coefficients of the life lines for turn and mainwall insulation materials for values above 1 000 h. It is recognised that a satisfactory life curve may not be available for comparison purposes. In this case, the manufacturer is responsible for providing a satisfactory design.

13.2 Coil samples

The life line obtained from voltage endurance testing should be corrected according to 9.3. The value of the voltage endurance coefficient and the lifetime at a selected percentile (normally 50 % or mean values) should be equivalent to those of conventional insulation tested at 50/60 Hz that has been shown to give an acceptable service life. Equivalence is supported by any partial overlap of the 90 % confidence intervals of life values and voltage endurance coefficients of the life lines for candidate and reference materials for values above 1 000 h.

13.3 Stress control samples

No partial discharge activity should be visible to the unaided eye in a dark room after 20 min of testing with impulse voltages. The maximum hot spot temperature measured on the surface of the endwinding region of the test objects should not raise the temperature of the insulation above its assigned temperature limit at the maximum expected operating temperature of the machine. No deterioration of the stress control system should be visible on the outer surface of the endwinding by the unaided eye (i.e. without the aid of a microscope or magnifying glass) after 100 h of testing with impulse voltages.

14 Acceptance test for Type II insulation systems (Type test)

14.1 General

Type II insulation systems are subjected to an accelerated ageing test using a 50 Hz or 60 Hz waveform and failure should not occur before a specified time. The decision as to whether acceptance tests are undertaken or not is to be agreed between the manufacturer and purchaser.

14.2 Acceptance test methods

Coils made to production standards are mounted in simulated slots and subjected to a 50 Hz or 60 Hz sinusoidal voltage with a peak to peak value of 4,3 times the maximum peak to peak phase to ground voltage appearing on the coils during converter operation. The voltage ratio of 4,3 is related to a lifetime exponent of approximately 10. The slot simulators should be earthed. Any stress control and corona protection measures to be used should be applied to the coils beforehand. This is primarily a test of the mainwall insulation and the test conditions may be too severe for the stress grading materials to last the complete test period. Remedial work on the stress grading materials is permitted. The test is conducted at room temperature and humidity on at least two complete coil samples by agreement between the manufacturer and the purchaser.

14.3 Acceptance test pass criteria

After 250 h, no samples should have failed by electrical breakdown. If any coil sample fails, an investigation of the cause should be carried out. The test is to be repeated with new improved samples.

NOTE Experience has shown that a lifetime of 400 h with a multiplying factor of 3,4 is an equivalent criterion and may be used instead.

15 Analysis, reporting and classification

The approach given in 5.6 of IEC 60034-18-1 to analysis, reporting and classification should be adopted so that all relevant data is analysed correctly and reported in a traceable manner.

Annex A (informative)

A.1 Impulse test circuit based on a spark gap oscillator

A circuit diagram is shown in Figure A.1 for a laboratory test kit to produce impulses similar in magnitude, repetition rate and rise time to those used in commercial converter/machine assemblies at present. It has been found suitable for turn/turn and stress control system testing but not for complete coils.

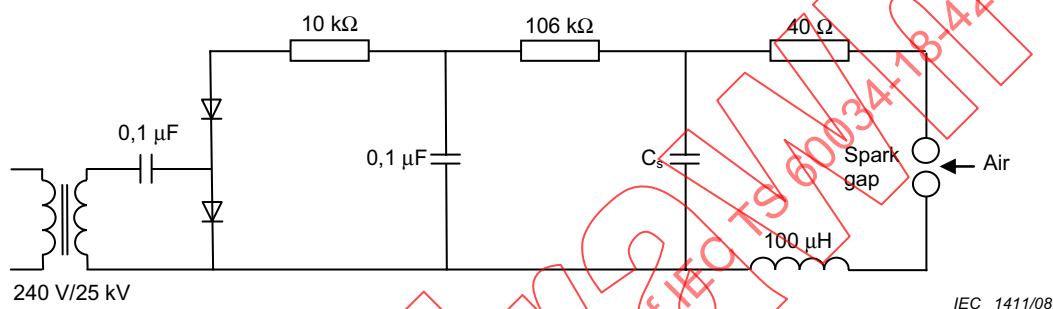


Figure A.1 – Example of a simple converter voltage simulation circuit

In this circuit, the sample bar is C_s and typically has value of 2 nF. If its capacitance is less, additional parallel capacitance should be added to reach this value. The spark gap is made using two tungsten rods, each 10 mm diameter with a hemispherical tip, and requires a jet of air at 2 bar across it. It should be set with a spacing of about 2 mm to give a breakdown voltage of 7 kV, at 2,5 mm for a breakdown voltage of 10 kV and 3 mm for a breakdown value of 12 kV. Under these circumstances, a stream of impulses with a maximum repetition rate of 3,5 kHz and an average of 1,5 kHz is generated. The variation arises from the simple half-wave rectification process. The impulse waveform is a falling voltage until breakdown occurs after which the voltage rises in 1,5 µs with a peak/peak value of 16 kV (Figure A.2). The maximum dV/dt in the wavefront is 15 kV/µs. There is a small oscillation after this impulse but it has a relatively slow rise time and small peak/peak voltage. The repetition rate, rise time and peak/peak voltage can be changed through the circuit parameters. Some of the resistors and the diodes need cooling. Experience has shown that, under these conditions, the tungsten tips may need re-grinding after about 24 h.

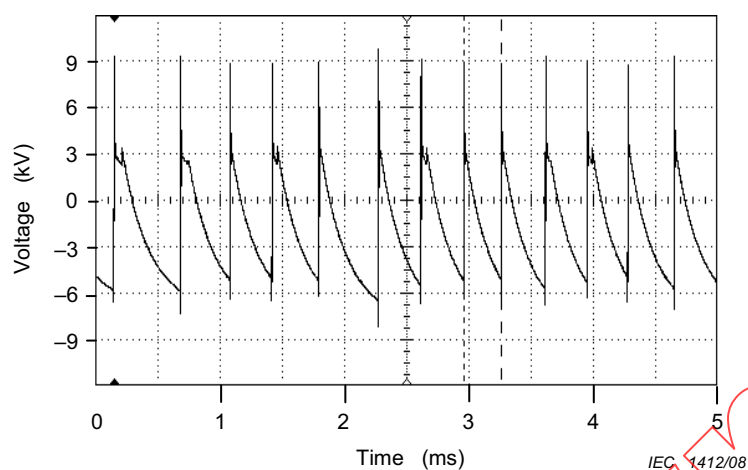


Figure A.2 – Typical waveform generated from the spark gap oscillator

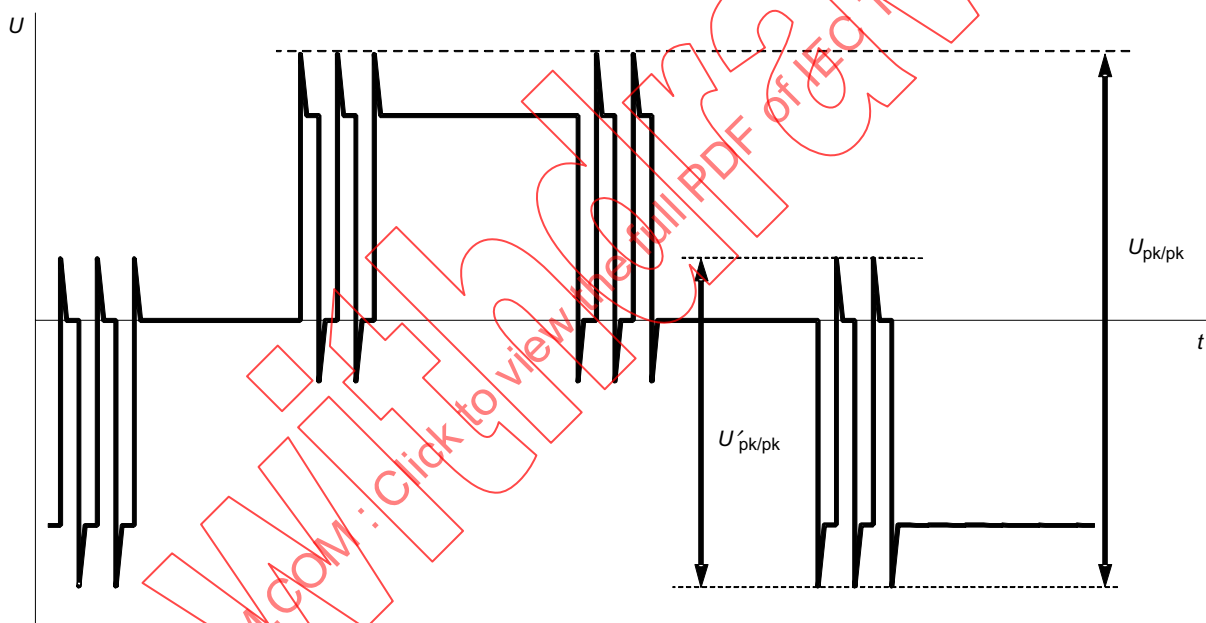
Annex B (informative)

B.1 Calculation of the contributions to ageing from a 3-level converter

This Annex gives examples of the factors for accelerated ageing of stator mainwall insulation in 3-level converter-fed machines. It shows the effects of electrical ageing and ignores thermal ageing. The following assumptions have been made.

- a) The general life expression in 9.2 applies.
- b) The value of “n” does not change with voltage or frequency in the range considered.

The converter characteristics chosen for this example are a 3-level system with a repetition frequency of 1 kHz, which is a commonly found value. The contribution to the ageing from the converter impulses is given as a percentage of the total ageing for different values of overshoot factor U_b/U_a (see Figure 1).



IEC 1413/08

Figure B.1 – Representation of the phase to ground voltage at the terminals of a machine fed from a 3-level converter

The calculation used for each contribution to ageing is based on the formulae given in 9.2. The ageing rate per impulse is proportional to $1/L$ so, as an example, for a fundamental impulse at 50 Hz and a peak to peak fundamental voltage of $U_{pk/pk}$ the contribution to ageing over a period of 20 ms is given by

Ageing rate (50 Hz) = $(U_{pk/pk})^n/k$ where k is a constant.

For a 3-level converter with no voltage overshoot, the contribution to ageing from 1 kHz impulses over 20 ms is given by

$$\text{Ageing rate (1 kHz)} = \frac{(U'_{nk/nk})^n}{k} \times 20 \quad (\text{See Figure B.1})$$

According to the cumulative ageing rate theory and in the absence of synergism, the total ageing rate is therefore the sum of these two contributions.

Table B.1 has been generated by substituting appropriate values in the two equations above. As an example, a 20 % overshoot factor (Figure B.1) would give

$$U'_{pk/pk} = 1,4U_a \text{ and } U_{pk/pk} = 2,4U_a$$

and the percentage contribution to ageing from the converter impulses for $n = 10$ is given by

$$\frac{(1,4)^{10} \times 20 \times 100}{(2,4)^{10}}$$

Table B.1 – Contribution to electrical ageing by 1 kHz impulses from a 3-level converter as a percentage of the ageing from the 50 Hz fundamental voltage for various values of voltage endurance coefficient (n)

Overshoot factor (U_b/U_a)	Frequency of impulses	n = 8	n = 9	n = 10	n = 11	n = 12
0 %	1 kHz	7 %	4 %	2 %	< 1 %	< 1 %
10 %	1 kHz	14 %	8 %	4 %	2 %	1 %
20 %	1 kHz	27 %	16 %	9 %	5 %	3 %
50 %	1 kHz	78 %	52 %	35 %	23 %	15 %

Annex C (informative)

C.1 Derivation of the acceptance test voltage

Industrial experience has shown that the mainwall insulation in a line fed (sinewave) rotating machine should be able to withstand $2,5 U_N$ for at least 250 h in an electrical endurance test. This is equivalent to a voltage of 4,3 times the phase to ground voltage. In the case of converter-fed machines, the meaning of rated voltage is not clear and the relationship between the phase to phase and phase to ground voltage is more complicated. Nonetheless, the ageing mechanism of the ground wall insulation is still considered to be dependent on the peak to peak voltage excursion and the number of impulses in the same way as for line fed machines. This enables the equivalent acceptance test for converter-fed machines to be calculated as follows.

Acceptance test voltage for line fed coils

$$= 2,5 U_N \text{ (r.m.s.) for at least 250 h}$$

$$= 2,5 \times \sqrt{3} \times U_0 \text{ (where } U_0 \text{ is the phase to ground r.m.s. voltage)}$$

$$= \frac{2,5 \times \sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \times (\text{phase to ground peak to peak voltage})$$

Therefore

$$\text{Acceptance test voltage for converter-fed coils} = \frac{2,5 \times \sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \times (\text{maximum phase to ground peak to peak voltage}).$$

For example, if the maximum peak to peak phase to ground voltage on a coil in a converter-fed machine is 8 kV,

$$\text{The r.m.s. value of the acceptance test voltage} = \frac{2,5 \times \sqrt{3} \times 8}{2\sqrt{2}} \text{ kV} = 12,25 \text{ kV}.$$

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
INTRODUCTION	36
1 Domaine d'application	37
2 Références normatives	37
3 Termes et définitions	38
4 Effets de la tension associés au fonctionnement des convertisseurs	40
4.1 Tensions aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur	40
4.2 Contraintes électriques pour les systèmes d'isolation des enroulements de machines	43
4.2.1 Généralités	43
4.2.2 Tensions contraignant l'isolation entre phases	44
4.2.3 Tensions contraignant l'isolation entre phase et terre	44
4.2.4 Tensions contraignant l'isolation entre spires	44
5 Systèmes d'isolation de Type II	45
6 Facteurs de contrainte pour les systèmes d'isolation de Type II alimentés par convertisseur	45
7 Essais de qualification et d'acceptation	46
7.1 Généralités	46
7.2 Essais de qualification	47
7.3 Essai d'acceptation	47
8 Qualification de l'isolation entre spires	48
8.1 Généralités	48
8.2 Méthodes d'essai	48
9 Qualification des systèmes d'isolation à la terre	50
9.1 Généralités	50
9.2 Méthodes d'essai	50
9.3 Utilisation de données de durée de vie à 50 Hz ou 60 Hz pour prédire la durée de vie en service avec un entraînement par convertisseur	52
10 Qualification du système de maîtrise des contraintes et du système de protection anti-effluves	53
10.1 Généralités	53
10.2 Méthodes d'essai	54
11 Préparation des éprouvettes	55
11.1 Généralités	55
11.2 Echantillons de paires de spires	55
11.3 Bobines	56
12 Procédures d'essais de qualification	56
12.1 Généralités	56
12.2 Echantillons de paires de spires	57
12.3 Bobines	57
12.4 Echantillons de maîtrise des contraintes	58
13 Critères de réussite des essais de qualification	58
13.1 Echantillons de paires de spires	58
13.2 Echantillons de bobines	58
13.3 Echantillons de maîtrise des contraintes	58
14 Essai d'acceptation pour les systèmes d'isolation de Type II (Essai de type)	59

14.1 Généralités.....	59
14.2 Méthodes des essais d'acceptation	59
14.3 Critères de réussite pour l'essai d'acceptation.....	59
15 Analyse, compte-rendu et classement	59
Annexe A (informative)	60
Annexe B (informative)	62
Annexe C (informative)	64
Figure 1 – Paramètres de la forme d'onde de l'impulsion de tension	40
Figure 2 – Tension entre phases aux bornes d'une machine alimentée par un convertisseur à 3 niveaux	41
Figure 3 – Sauts de tension possibles (U_j) aux bornes de la machine, associés à un entraînement par convertisseur.....	42
Figure 4 – Augmentation de la tension maximale aux bornes de la machine en fonction de la longueur du câble pour différents temps de montée d'impulsion pour un convertisseur à 2 niveaux	43
Figure 5 – Exemples de conception	44
Figure 6 – Durées de vie de l'isolation entre spires et de l'isolation principale.	49
Figure 7 – Exemple de courbe de durée de vie pour un système d'isolation principale de Type II	53
Figure 8 – Exemple de construction d'un échantillon d'essai de paires de spires pour des conducteurs rectangulaires	56
Figure A.1 – Exemple de circuit de simulation de tension par convertisseur simple.....	60
Figure A.2 – Forme d'onde typique générée par l'oscillateur à éclateur.....	61
Figure B.1 – Représentation de la tension entre phase et terre aux bornes d'une machine alimentée par un convertisseur à 3 niveaux	62
Tableau 1 – Influence des caractéristiques de la tension d'entraînement du convertisseur sur l'accélération du vieillissement des composants des systèmes d'isolation de Type II.....	46
Tableau B.1 – Contribution au vieillissement électrique par des impulsions de 1 kHz à partir d'un convertisseur à 3 niveaux exprimée en pourcentage du vieillissement résultant de la tension fondamentale à 50 Hz, pour diverses valeurs du coefficient d'endurance sous tension (n).....	63

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

**Partie 18-42: Essais de qualification et d'acceptation
des systèmes d'isolation électrique résistants aux décharges
partielles (Type II) utilisés dans des machines électriques tournantes
alimentées par convertisseurs de tension**

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet est encore en évolution d'un point de vue technique ou, pour toute autre raison, lorsqu'il existe une possibilité dans l'avenir mais pas dans l'immédiat pour un accord sur une Norme internationale.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication, afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 60034-18-42, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
2/1482/DTS	2/1502/RVC

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

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

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

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

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

L'approbation des systèmes d'isolation électrique destinés à des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension est décrite dans deux spécifications techniques. Ces spécifications techniques répartissent les systèmes en deux types selon qu'ils sont destinés à un fonctionnement où ils **ne sont pas** susceptibles d'être le siège, en un point quelconque de leur système d'isolation, à des décharges partielles dans des conditions spécifiées d'exploitation (Type I), ou bien s'ils **sont** susceptibles d'être soumis, en un point quelconque de leur système d'isolation, à des décharges partielles dans des conditions spécifiées d'exploitation (Type II). Pour les systèmes d'isolation de Type I et de Type II, il convient que l'intégrateur du système d'entraînement informe le constructeur de la machine de la tension qui apparaîtra aux bornes en fonctionnement. Le constructeur de la machine devra donc choisir un degré de sévérité d'essais appropriés pour qualifier le système d'isolation. Cette sévérité est fondée sur le temps de montée des impulsions, la tension crête à crête et, dans le cas des systèmes de Type II, sur le taux de répétition des impulsions.

CEI/TS 60034-18-41

Les systèmes d'isolation de Type I sont traités dans la CEI/TS 60034-18-41. Ils sont généralement utilisés dans des machines tournantes dont la tension assignée d'alimentation est inférieure à 700 V en valeur efficace et dont les stators sont généralement à enroulement à fils. Les références normatives et définitions nécessaires sont données dans la présente spécification technique, ainsi qu'une présentation des effets liés à l'utilisation de convertisseurs. L'approche conceptuelle utilisée est décrite après que les bases techniques nécessaires à la procédure d'évaluation ont été établies.

CEI/TS 60034-18-42

La présente spécification technique décrit les essais de qualification et d'acceptation des systèmes d'isolation électrique choisis pour les machines électriques tournantes de Type II. Ces systèmes d'isolation sont généralement utilisés dans les machines tournantes et ont généralement des bobines préformées, le plus souvent assignées à une tension supérieure à 700 V en valeur efficace. La procédure de qualification est totalement différente de celle utilisée pour les systèmes d'isolation de Type I et implique la destruction d'éprouvettes isolées dans des conditions de vieillissement accélérées. Le constructeur exige une courbe de durée de vie pour le système d'isolation, qui puisse être interprétée pour donner une estimation de la durée de vie dans les conditions de fonctionnement avec le convertisseur. Une grande importance est donnée à la qualification de tout système de maîtrise et répartition des contraintes utilisé, et il convient d'effectuer les essais dans des conditions d'impulsions répétitives. S'il peut être démontré que le système d'isolation offre une durée de vie acceptable dans les conditions de vieillissement appropriées, le système est qualifié pour son utilisation. Les essais d'acceptation sont réalisés sur des bobines utilisant ce système d'isolation par réalisation d'un essai d'endurance sous tension.

Il convient de lire la présente spécification technique conjointement avec la CEI/TS 60034-18-41, qui donne les fondements de la technologie des systèmes machine/convertisseur.

Les systèmes d'isolation des enroulements destinés aux machines alimentées par convertisseur et aux technologies des convertisseurs évoluent rapidement. De plus, des recherches sont en cours sur les meilleurs moyens de soumettre aux essais ces systèmes d'isolation. Il est donc attendu que l'ensemble de ces améliorations puisse bénéficier à la présente spécification technique dans les prochaines années.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-42: Essais de qualification et d'acceptation des systèmes d'isolation électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension

1 Domaine d'application

La présente spécification technique définit les critères d'évaluation du système d'isolation des enroulements statorique et rotorique des machines à courant alternatif monophasées ou polyphasées qui sont soumises à des tensions de choc répétitives, comme par exemple les convertisseurs à modulation de largeur d'impulsion (MLI), et susceptibles d'endurer des décharges partielles pendant leur fonctionnement. Elle spécifie des essais de qualification électrique et d'acceptation réalisés sur des échantillons représentatifs, en vue de vérifier leur adéquation à un fonctionnement avec des convertisseurs de source de tension.

Le présent document ne s'applique pas:

- aux machines tournantes qui sont alimentées par un convertisseur seulement pour leur démarrage ;
- aux équipements et dispositifs électriques pour la traction.

NOTE Bien que la présente spécification technique traite des convertisseurs de source de tension, il est admis qu'il existe d'autres types de convertisseurs qui peuvent créer des tensions de choc répétitives. Pour ces convertisseurs, une approche similaire des essais peut être utilisée si nécessaire.

2 Références normatives

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

CEI 60034-18-1, *Machines électriques tournantes – Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Partie 18-1: Principes directeurs généraux*

CEI 60034-18-32, *Machines électriques tournantes – Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Partie 18-32: Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation électrique des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*

CEI/TS 60034-18-41, *Machines électriques tournantes – Partie 18-41: Qualification et essais de type des systèmes d'isolation de type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseurs de tension*

CEI 60216-3, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique* (disponible en anglais seulement)

CEI/TS 61251, *Matériaux isolants électriques – Evaluation de l'endurance à la tension alternative – Introduction* (disponible en anglais seulement)

CEI 61800-4, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 4: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînements de puissance en courant alternatif de tension supérieure à 1 000 V alternatif et ne dépassant pas 35 kV*

CEI 62068-1, *Systèmes d'isolation électrique – Contraintes électriques produites par des impulsions de tension appliquées périodiquement – Partie 1: Méthode générale d'évaluation de l'endurance électrique*

CEI 62539, *Guide pour l'analyse statistique des données de claquage de l'isolation électrique* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés ci-dessous s'appliquent.

3.1

coefficient d'endurance sous tension

symbole: n

exposant du modèle en puissance inverse ou du modèle exponentiel duquel dépend la relation entre la durée de vie et l'amplitude de la contrainte en tension pour un système d'isolation spécifique

3.2

durée de vie

durée de fonctionnement avant défaillance

3.3

matériau de répartition des contraintes

matériau ayant généralement une caractéristique de résistivité non linéaire, appliqué sur les têtes de bobines des enroulements des stators, afin de réduire les contraintes électriques maximales de surface

3.4

matériau de protection anti-effluves

matériau utilisé pour recouvrir une barre stator dans la partie de l'encoche du noyau magnétique du stator, afin d'éviter des décharges dans l'encoche

3.5

temps de montée de l'impulsion

symbole: t_r

intervalle de temps séparant les valeurs entre 0 % et 100 % de l'impulsion de tension (voir Figure 1)

NOTE Sauf spécification contraire, il est estimé à 1,25 fois la durée nécessaire pour que la tension passe de 10 % à 90 %.

3.6

système d'isolation électrique

structure isolante comprenant un ou plusieurs matériaux isolants électriques ainsi que les parties conductrices utilisées dans un dispositif électrotechnique

[CEI 62068-1]

3.7

contrainte (électrique)

champ électrique en V/mm

3.8**tension assignée**symbole: U_N

tension assignée, généralement par le constructeur, pour les conditions spécifiées de fonctionnement d'une machine

3.9**fréquence fondamentale**

première fréquence du spectre, obtenue à partir d'une transformée de Fourier d'une fonction temporelle périodique, et à laquelle toutes les autres fréquences du spectre se réfèrent

NOTE Pour les besoins de la présente spécification technique, la fréquence fondamentale de la tension aux bornes de la machine est identique à celle définissant la vitesse de la machine alimentée par convertisseur.

3.10**amplitude de l'impulsion de tension permanente**symbole: U_a

amplitude finale de l'impulsion de tension (voir Figure 1)

3.11**tension (de choc) de crête**symbole: U_p

valeur numérique maximale atteinte par la tension unipolaire (par exemple U_p sur la Figure 1)

NOTE 1 Pour des impulsions de tension bipolaires, il s'agit de la moitié de la tension crête à crête (voir Figure 2).

NOTE 2 La tension crête à crête, $U_{pk/pk}$ est présentée sur la Figure 2.

3.12**surtension**symbole: U_b

amplitude de la tension de crête supérieure à la tension de choc permanente (voir Figure 1)

3.13**fréquence de répétition de l'impulsion**

nombre moyen d'impulsions de tension par unité de temps, générées par le convertisseur (fréquence de commutation)

3.14**saut de tension**symbole: U_j

variation de tension aux bornes de la machine, se produisant au début de chaque impulsion, lorsqu'elle est alimentée par un convertisseur (voir Figure 3)

3.15**tension de choc crête à crête**symbole: $U'_{pk/pk}$

tension crête à crête à la fréquence d'impulsion (voir Figure 2)

3.16**tension crête à crête**symbole: $U_{pk/pk}$

tension crête à crête à la fréquence fondamentale (voir Figure 2)

3.17**décharge partielle**

décharge électrique dont le trajet se développe sur une partie seulement de l'isolation entre des conducteurs

NOTE Elle peut se produire au sein même de l'isolation, ou à partir d'un conducteur.

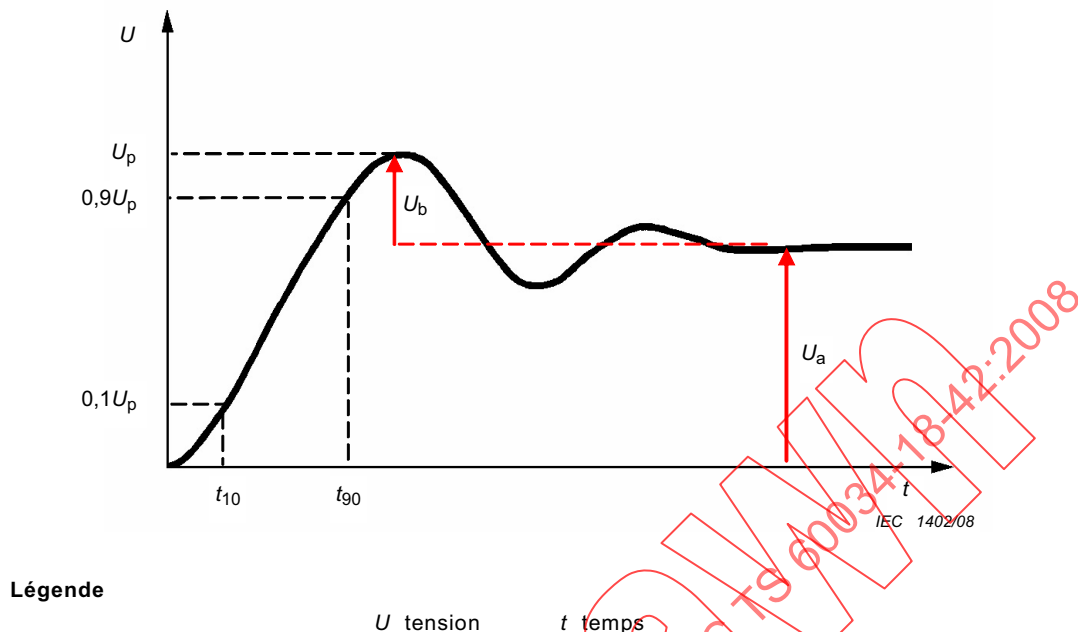


Figure 1 – Paramètres de la forme d'onde de l'impulsion de tension

4 Effets de la tension associés au fonctionnement des convertisseurs

4.1 Tensions aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur

Les convertisseurs modernes génèrent des tensions dont le temps de montée peut être, en fonction des caractéristiques de commutation des semi-conducteurs, entre 50 ns et 2 000 ns. La tension apparaissant aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur dépend de plusieurs caractéristiques du système d'entraînement de puissance (voir la CEI 61800-4), telles que:

- la tension d'alimentation de fonctionnement du convertisseur;
- l'architecture et le mode de contrôle du convertisseur;
- la présence de filtres entre le convertisseur et la machine;
- la longueur et les caractéristiques du câble entre le convertisseur et la machine;
- la conception de l'enroulement de la machine;
- le système de mise à la terre.

Afin d'appliquer la présente spécification technique à la qualification et aux essais du système d'isolation d'un enroulement, il est nécessaire de spécifier les paramètres requis de la tension apparaissant aux bornes de la machine (Article 6). Dans le cas de convertisseurs à 2 niveaux ou autres convertisseurs de tension, en fonction du temps de montée de l'impulsion de tension au niveau de la sortie du convertisseur et de la longueur du câble et de l'impédance de la machine, les impulsions génèrent des surtensions aux bornes de la machine. Cette surtension est créée par réflexion des ondes à l'interface entre le câble et la machine ou aux bornes du convertisseur, en raison d'une impédance non adaptée. La tension apparaissant aux bornes de la machine lorsqu'elle est alimentée par un convertisseur à 3 niveaux est présentée sur la Figure 2. La figure montre un cycle à la fréquence fondamentale.

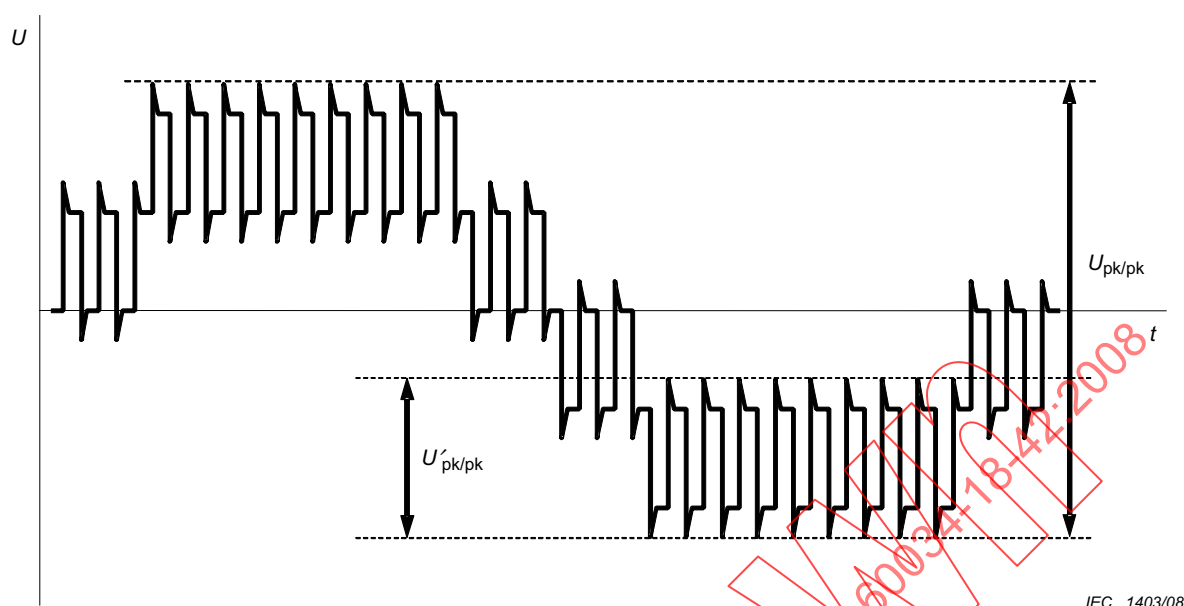


Figure 2 – Tension entre phases aux bornes d'une machine alimentée par un convertisseur à 3 niveaux

Deux exemples de la variation maximale de tension à la fréquence d'impulsion, U_j , sont présentés sur la Figure 3. Ce paramètre est important pour définir l'augmentation de la tension qui peut se produire dans la première ou la dernière bobine du stator. Bien que la valeur de U_j plus petite de la Figure 3 soit la variation de tension instantanée la plus courante se produisant aux bornes de la machine, il est possible qu'en de rares occasions, ce saut de tension se produise au moment de la permutation entre les niveaux, auquel cas la plus élevée des deux tensions présentées sur la Figure 3 peut apparaître.

Des exemples d'augmentation produite pour divers temps de montée et différentes longueurs de câbles dans le cas d'un convertisseur 2 niveaux sont donnés sur la Figure 4, où le cas le plus défavorable est présenté, provenant d'une charge d'impédance infinie. Dans ce cas, l'augmentation de la tension pour un temps de montée d'impulsion de 1 000 ns est négligeable pour une longueur de câble inférieure à 15 m et dépasse seulement un facteur de 1,2 quand cette longueur de câble dépasse 50 m.

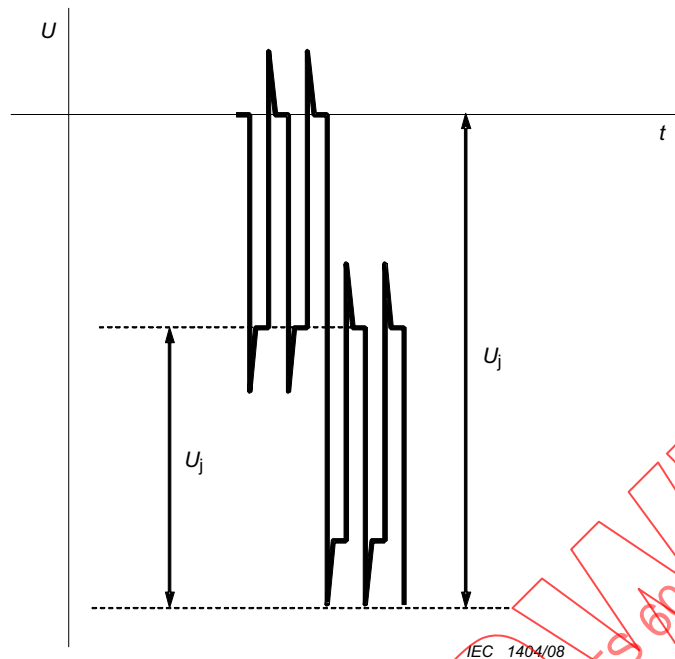
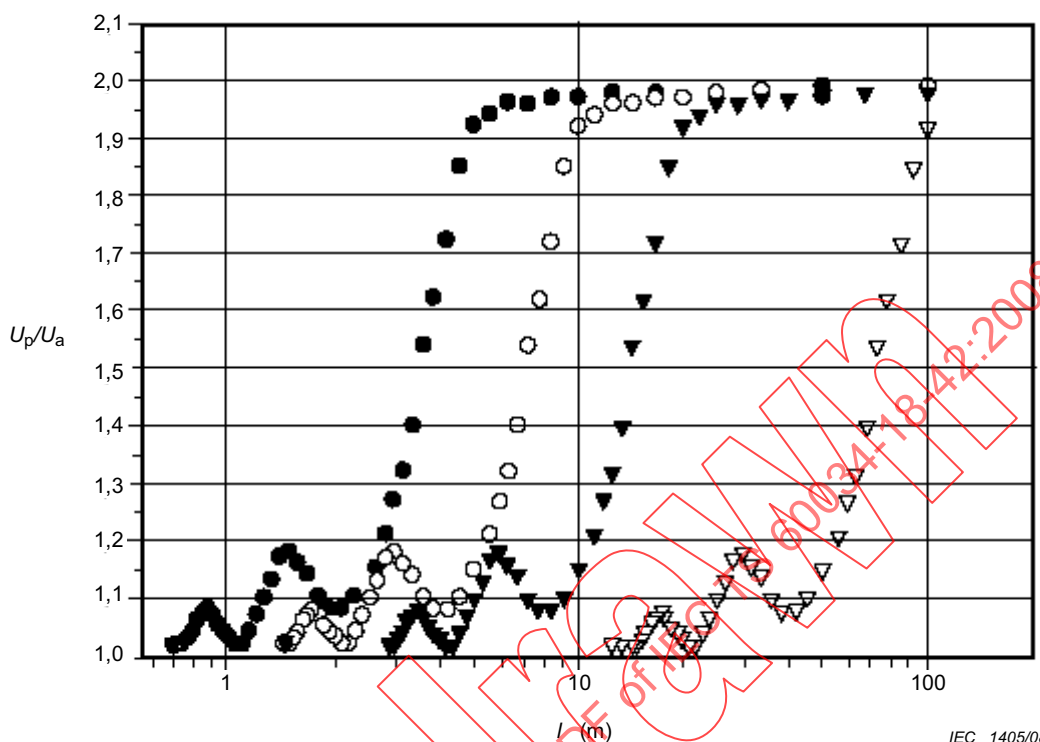


Figure 3 – Sauts de tension possibles (U_j) aux bornes de la machine, associés à un entraînement par convertisseur



IEC 1405/08

Légende

- $t_r = 50 \text{ ns}$
- $t_r = 100 \text{ ns}$
- ▼ $t_r = 200 \text{ ns}$
- ▽ $t_r = 1\,000 \text{ ns}$
- l longueur de câble

Figure 4 – Augmentation de la tension maximale aux bornes de la machine en fonction de la longueur du câble pour différents temps de montée d'impulsion pour un convertisseur à 2 niveaux

4.2 Contraintes électriques pour les systèmes d'isolation des enroulements de machines

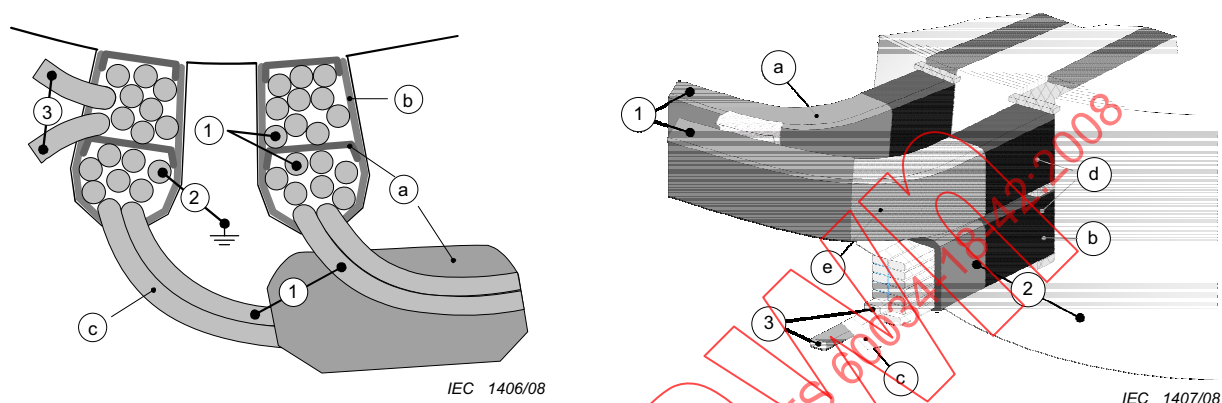
4.2.1 Généralités

Lorsqu'un enroulement est soumis à des impulsions de tension à temps de montée abrupt d'amplitude significative, des contraintes de tension élevée vont être créées aux emplacements suivants (Figures 5a et 5b):

- entre les conducteurs dans différentes phases,
- entre un conducteur et la terre,
- entre des spires adjacentes, généralement dans la dernière bobine.

Du fait de l'existence d'une charge d'espace soit en volume soit en surface dans les composants d'isolation, les contraintes électriques ne sont pas seulement définies par la valeur instantanée de la tension elle-même, mais aussi par la valeur des tensions de crête qui

ont contraint précédemment l'isolation. L'expérience montre que, dans certaines limites, le paramètre le plus contraignant dans les applications utilisant des systèmes d'entraînement, est la tension crête à crête. C'est également la raison pour laquelle une tension unipolaire produit le même type de contraintes qu'une tension bipolaire ayant une tension crête à crête de la même valeur.



Légende

- a isolation entre phases / isolation des développantes des enroulements
- b isolation par rapport à la terre
- c isolation entre spires
- d protection contre l'effet de couronne dans l'encoche
- e répartition des contraintes électriques
- 1 entre phases
- 2 entre phase et terre
- 3 entre spires

Figure 5a – Exemple de conception à enroulement à fils

Figure 5b – Exemple de conception à bobine préformée

Figure 5 – Exemples de conception

4.2.2 Tensions contraignant l'isolation entre phases

La contrainte maximale de tension s'exerçant sur l'isolation entre phases est déterminée par la conception de l'enroulement et par les caractéristiques de la tension entre phases.

4.2.3 Tensions contraignant l'isolation entre phase et terre

La contrainte maximale de tension s'exerçant sur l'isolation entre phase et terre est déterminée par la conception de l'enroulement et par les caractéristiques de la tension entre phase et terre.

4.2.4 Tensions contraignant l'isolation entre spires

La tension contraignant l'isolation entre spires est déterminée par les valeurs de saut de la tension entre phase et terre (amplitude et temps de montée) et par la conception de l'enroulement (nombre de bobines, nombre et longueur des spires). Si cette tension n'est pas connue, elle peut être estimée comme étant le saut de tension entre phase et terre, divisé par le nombre de spires (pour une bobine normale) ou de couches de la bobine (pour les bobines transversales). Un autre accroissement se produit, dû à une onde progressive le long du conducteur.

5 Systèmes d'isolation de Type II

Si une partie quelconque d'un système d'isolation est susceptible de devoir endurer des décharges partielles au cours de sa durée de vie, elle est définie comme étant de Type II, et il convient par conséquent qu'elle contienne des matériaux qui résistent aux décharges partielles. Généralement, les machines avec une tension assignée ≥ 700 V utilisent des systèmes d'isolation de Type II. La valeur de la tension assignée est en général affectée par le constructeur à la fréquence du secteur. Ceci suppose que la tension provenant de l'alimentation est de type sinusoïdal 50 Hz ou 60 Hz. Dans le cas de machines alimentées par convertisseurs, la définition classique de la tension assignée n'est plus du tout applicable, même si le constructeur peut continuer à assigner cette tension pour un fonctionnement à 50 Hz ou à 60 Hz et le marquer sur la plaque signalétique de la machine. Il convient que la tension nominale du système d'isolation pour le fonctionnement sur convertisseur soit définie en utilisant les facteurs de contrainte pour lesquels sa qualification a été réalisée. La tension assignée à fréquence d'alimentation attribuée par le constructeur à la machine peut ne pas être appropriée au système d'isolation lors d'une alimentation par convertisseur.

6 Facteurs de contrainte pour les systèmes d'isolation de Type II alimentés par convertisseur

Il convient que la personne en charge de l'intégration du convertisseur spécifie à la personne en charge de la conception de la machine, la tension qui va être appliquée à ses bornes. Il convient que ces informations soient mentionnées dans la spécification d'achat en plus des paramètres classiques tels que la tension assignée, la classe thermique, l'humidité, etc. Plus spécifiquement, les valeurs extrêmes doivent être définies pour les paramètres suivants de la tension qui apparaissent aux bornes de la machine.

- a) Fréquences de répétition de la tension fondamentale et de choc aux bornes de la machine.
- b) Tensions crête à crête des fréquences fondamentales et de répétition, ainsi que les sauts de tension susceptibles de se produire aux bornes de la machine.
- c) Temps de montée des impulsions, t_r .

Le Tableau 1 donne une indication de la signification des caractéristiques de la tension aux bornes de la machine par rapport au vieillissement des composants d'un système d'isolation de Type II. Dans les machines possédant des systèmes d'isolation de Type II, les matériaux de l'isolation principale, d'isolation entre phases et d'isolation entre spires sont généralement des combinaisons de matériaux organiques et inorganiques. Pour les stators fonctionnant au-dessus de 700 V, il peut y avoir une protection anti-effluve dans l'encoche, conçue pour fournir un écran mis à la terre pour l'enroulement statorique isolé en contact avec la paroi de l'encoche. La surface de l'isolation du conducteur est soumise à une concentration de contraintes, à mesure qu'elle émerge de l'encoche et, pour les machines à tension plus élevée, elle peut être traitée avec un matériau de répartition des contraintes, afin d'éviter l'apparition d'arcs en surface. Ces cinq composants (isolation principale, entre spires, entre phases, anti-effluves dans l'encoche et répartition des contraintes) constituent un système d'isolation de Type II typique. Les tensions entre phases sont présentes lorsque deux bobines sont en contact dans la même encoche. Cependant, il existe dans ce cas deux couches d'isolation principale, généralement séparées par un isolant, et la contrainte de tension n'est ainsi pas considérée comme étant d'amplitude significativement suffisante pour requérir des essais de systèmes d'isolation entre phases. Aucun essai spécifique n'est par conséquent recommandé pour l'isolation entre phases. Les composants d'isolation évalués dans les essais de qualification et d'acceptation sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Influence des caractéristiques de la tension d'entraînement du convertisseur sur l'accélération du vieillissement des composants des systèmes d'isolation de Type II

Composant d'isolation	Fréquence fondamentale	Fréquence de répétition de l'impulsion	Tension crête à crête à la fréquence fondamentale	Saut de tension	Tension crête à crête à la fréquence de répétition de l'impulsion ($U'_{pk/pk}$)	Temps de montée de l'impulsion
Isolation entre spires	○	●	○	●	○	●
Isolation principale	●	○	●	○	○	○
Couche de protection anti-effluve et répartition des contraintes	○	●	●	●	●	●

NOTE ○ Peu significatif ● Très significatif

Pour les systèmes d'isolation conçus pour être utilisés avec une alimentation à haute fréquence d'alimentation, les effets à court terme et à long terme de la tension assignée entre phase et terre à travers l'isolation principale et sur la longueur du système de répartition des contraintes sont primordiaux. L'isolation entre spires est généralement spécifiée par l'exigence de surtension maximale à temps de montée abrupt prise en compte à la conception; des événements de surtension de ce type sont généralement de très courte durée et sont relativement peu fréquents par rapport au taux de répétition des impulsions. Pour cette raison, les exigences d'acceptation sont généralement satisfaites par l'aptitude de l'isolation principale de l'enroulement à résister à un essai de tenue à fréquence d'alimentation et de l'isolation entre spires à résister à un essai de surtension. L'aptitude du système à satisfaire aux exigences de durée de vie prévue à la conception est généralement satisfaite par des essais d'endurance sous tension de longue durée à 50 Hz ou 60 Hz. Cet essai d'endurance permet au concepteur d'établir l'aptitude à long terme du système d'isolation principale.

Dans le cas de systèmes alimentés par convertisseur, la forme d'onde de tension plus complexe produite par l'entraînement fournira une distribution de contraintes différente dans l'enroulement. Les systèmes d'isolation principale, de répartition des contraintes et de protection anti-effluves sont affectés par l'amplitude de la surtension, U_b , la rapidité de montée de la tension et le taux de répétition de la tension de choc. Ce dernier peut augmenter l'échauffement diélectrique dans l'isolation principale, dans la couche de protection contre l'effet de couronne et dans le matériau de répartition des contraintes. A mesure que le temps de montée des impulsions diminue, la contrainte de tension augmente généralement sur l'isolation entre les spires adjacentes sur la dernière bobine des bobines à spires multiples. La combinaison de ces facteurs et leur effet sur le système d'isolation dans son ensemble sont extrêmement difficiles à quantifier.

7 Essais de qualification et d'acceptation

7.1 Généralités

L'essai des systèmes d'isolation électrique de Type II des machines alimentées par convertisseur s'effectue en deux étapes. La première étape est la qualification des systèmes d'isolation principale et d'isolation entre spires. Chaque système sera défini par chaque paramètre régissant les règles de conception du constructeur, comme par exemple les matériaux d'isolation, les contraintes acceptables, les matériaux de maîtrise des contraintes et les techniques d'application, les processus et les guides dimensionnels. Ce sont

précisément ces règles de conception qui sont qualifiées. Pour la qualification des systèmes d'isolation principale de Type II, les bobines ou les barres sont soumises à un vieillissement électrique accéléré afin de déterminer une courbe de durée de vie électrique. Une méthode de calcul de la durée de vie pour les systèmes alimentés par convertisseur utilisant des données provenant des essais d'endurance sous tension à fréquence d'alimentation est également possible dans certains cas. Des essais séparés sont réalisés pour le système de maîtrise des contraintes et l'isolation entre spires. S'il peut être démontré que l'isolation entre spires ou l'isolation principale n'est pas susceptible d'endurer des décharges partielles en fonctionnement, les essais d'endurance sous tension de cette partie du système d'isolation peuvent être omis.

La deuxième étape est un essai d'acceptation. Dans cet essai, des bobines complètes réalisées conformément à une norme de production sont soumises à un essai d'endurance sous tension à 50 Hz ou 60 Hz. L'essai est réalisé après accord entre l'acheteur et le constructeur.

7.2 Essais de qualification

Pour les besoins de la présente spécification technique, les essais de qualification sont réalisés pour qualifier les matériaux, les règles de conception et le traitement d'un système d'isolation pour résister à des décharges partielles dans un enroulement dans un ensemble donné de contraintes. Ces essais sont basés sur les procédures générales pour l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation décrits dans la CEI 60034-18-1, selon lesquelles le système d'isolation destiné à être utilisé dans des conditions de fonctionnement avec convertisseur (système candidat) est comparé à un système d'isolation ayant une expérience en service dans des conditions d'alimentation par le réseau ou de fonctionnement avec convertisseur (système de référence).

Pour les systèmes d'isolation de Type II, la qualification des systèmes d'isolation principale et d'isolation entre spires est réalisée par des essais d'endurance sous tension à température ambiante ou à température élevée (voir par exemple la CEI 60034-18-32). En utilisant différentes surtensions ou fréquences, une courbe de durée de vie peut être établie (Article 9). Il est à noter que les mécanismes de vieillissement interactifs entre l'isolation principale et entre spires ne sont pas pris en compte dans le présent document. Sur la base des hypothèses suivantes, la durée de vie du système d'isolation dans des conditions d'impulsion peut être estimée à partir d'une courbe de la durée de vie, même si elle a été déduite à partir d'essais sous tension sinusoïdale.

- a) La vitesse de vieillissement due à des tensions de choc et à fréquence d'alimentation est la même, à condition que les valeurs crête à crête et le nombre de cycles de tension fondamentale soient les mêmes.
- b) L'exposant de la durée de vie, n , ne dépend pas de la fréquence en dessous de 1 kHz.

La qualification des systèmes de répartition des contraintes et de protection anti-effluves est entreprise par un essai de vieillissement séparé dans lequel un échantillon représentatif de l'enroulement isolé dans une encoche simulée est exposé à des contraintes de tension de choc semblables à celles prévues en service pendant une certaine période, afin de déterminer si un dommage visible quelconque se produit, tel qu'une décoloration ou une combustion.

L'utilisation du retour d'expérience en service comme une alternative aux essais de qualification est soumise à un accord entre l'acheteur et le constructeur.

7.3 Essai d'acceptation

Dans le cas de systèmes d'isolation de Type II, les bobines de production dans les encoches simulées sont soumises à une tension sinusoïdale à 50 Hz ou 60 Hz, appliquée à travers l'isolation principale pendant 250 h avec une valeur crête à crête égale à 4,3 fois la tension crête à crête maximale apparaissant à travers l'isolation principale dans des conditions de fonctionnement sur convertisseur (Annexe C). Il s'agit d'un essai de qualité de l'isolation

principale, et une tenue n'implique pas une durée de vie en service acceptable avec un entraînement par convertisseur. Cependant, il est possible de faire cet essai pendant la durée contractuelle et d'établir ainsi l'absence de défauts majeurs dans le système de production.

8 Qualification de l'isolation entre spires

8.1 Généralités

L'isolation entre spires dans les bobines d'un enroulement de machine fonctionnant à partir d'une alimentation sinusoïdale est généralement déterminée pour répondre à la nécessité de résister à des tensions discrètes d'amplitude élevée et de courte durée. Les considérations régissant la conception de l'isolation entre spires sont distinctes de celles relatives à l'isolation principale. Les matériaux, les dimensions et les processus utilisés dans la construction de l'isolation entre spires peuvent être différents de ceux utilisés pour l'isolation principale.

En fonction de la tension entre phase et terre prévue dans la machine, la qualification de l'isolation entre spires peut être exigée. Les caractéristiques principales de cette tension en ce qui concerne le vieillissement de l'isolation entre spires sont le temps de montée de l'impulsion et l'amplitude du saut de tension. Lorsqu'elle est considérée comme une partie de la conception globale de la bobine pour l'enroulement, l'isolation entre spires fait également partie de l'isolation principale et contribue à la courbe de vieillissement décrite dans les Articles 7 et 9.

Dans la majorité des applications de tension sinusoïdale, l'isolation entre spires ne sera pas soumise à des contraintes significatives en fonctionnement. Son rôle principal est de résister à des surtensions occasionnelles ou à des événements similaires. Cependant, à mesure que le temps de montée des impulsions diminue, les contraintes électriques associées au saut de tension commencent à se déplacer vers les régions entre les spires, en particulier au niveau des coins des spires. Ceci peut provoquer un vieillissement thermique et électrique de l'isolation entre spires en service. La contrainte entre les spires s'intensifie avec la diminution du temps de montée, augmentant la probabilité de décharges partielles entre les spires. L'effet de la tension prévue entre phase et terre sur l'isolation entre spires dépendra également du nombre de spires dans la bobine. Lors d'un fonctionnement sur le réseau, des tensions de choc stochastiques élevées se produisent, qui sont absentes lors d'un fonctionnement sur convertisseur. Par conséquent, l'isolation entre spires ne sera pas soumise à un vieillissement électrique lors d'un fonctionnement sur le réseau, mais elle peut l'être lors d'un fonctionnement sur convertisseur, en raison de la fréquence de répétition d'impulsion élevée.

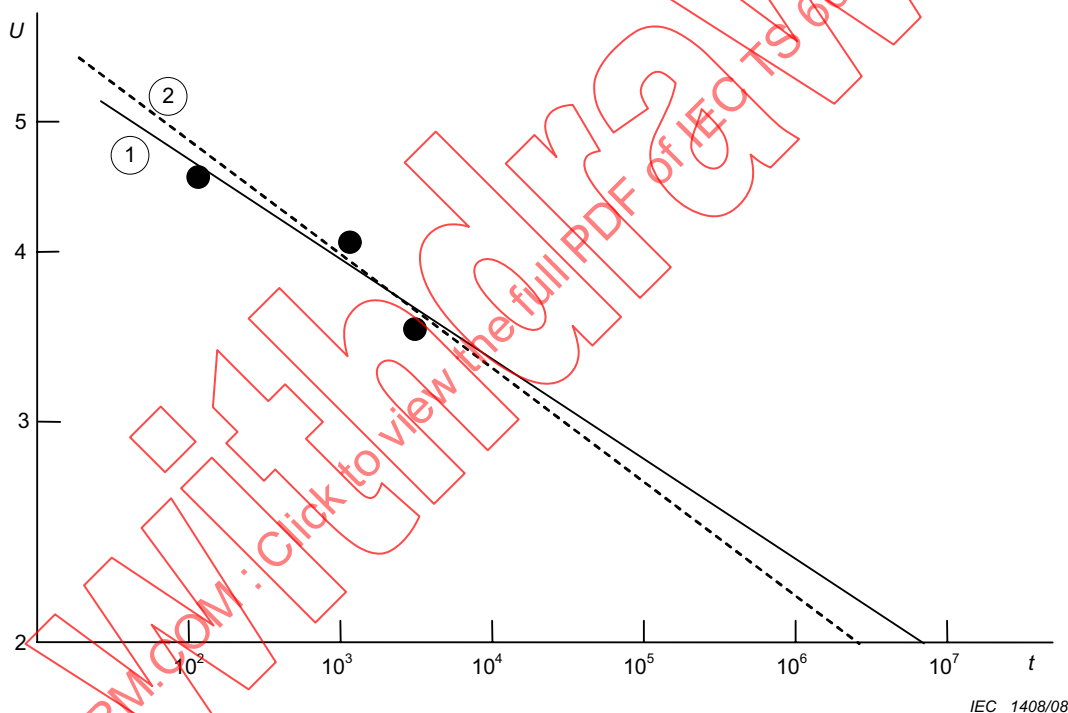
En général, l'expérience montre que l'intensification des contraintes est la plus élevée entre la première et la deuxième spires dans la dernière bobine, mais il peut être possible en raison de la réflexion de la forme d'onde d'initier un vieillissement en d'autres emplacements à l'intérieur de l'enroulement.

8.2 Méthodes d'essai

L'objet des essais est de montrer que la durée de vie de l'isolation électrique entre spires en service est acceptable. Autrement dit, elle est supposée durer aussi longtemps que l'isolation principale, si ce n'est plus. Les échantillons se composeront de deux spires uniques de forme décrite en 11.2. Il est prévu que le constructeur sache quelle tension crête à crête maximale apparaîtra entre les spires dans une application de service particulière. Il convient d'augmenter cette valeur d'un facteur de sécurité, conformément aux règles de conception du constructeur, afin de donner la tension d'essai crête à crête de base, U_{turn} . Si la tension crête à crête maximale en service est inconnue, il convient de supposer que le saut de tension complet peut survenir dans la première bobine, et donc la tension d'essai est le saut de tension divisé par le nombre de spires, multiplié par un facteur de sécurité. Dans une conception transversale de bobine, U_{turn} est prise comme étant le saut de tension divisé par le nombre de couches et multiplié par un facteur de sécurité. Une augmentation supplémentaire peut être incluse pour tenir compte de la tension développée le long d'un

conducteur provenant de l'onde progressive propagée le long de ce dernier. Ce degré d'augmentation varie avec le temps de montée de l'impulsion.

Les essais se font en deux étapes. Lors de la première étape, U_{turn} est appliquée entre les deux conducteurs de l'échantillon d'essai comme une tension sinusoïdale à 50 Hz ou 60 Hz pendant 60 s. S'il n'y a pas de décharges partielles, il peut ne pas être nécessaire d'effectuer des essais de qualification. Si des décharges partielles sont détectées, un essai d'endurance sous tension doit être réalisé. Ceci consistera à appliquer des impulsions répétitives, comme décrit dans la CEI 62068-1 ou une tension sinusoïdale à la fréquence de répétition du convertisseur (ou au-dessus de celle-ci), entre les deux conducteurs dans l'échantillon d'essai, jusqu'à ce qu'un claquage électrique se produise. Les exemples recommandés de tension sont $4,5 U_{\text{turn}}$, $4,0 U_{\text{turn}}$ et $3,5 U_{\text{turn}}$. Il convient que le nombre de tensions d'essai soit d'au moins trois. Il convient de soumettre aux essais cinq échantillons à chaque tension. La durée de fonctionnement avant défaillance peut être calculée à l'aide de n'importe quelle méthode statistique couramment utilisée (voir la CEI 62539). Un graphique peut alors être tracé, représentant la durée de fonctionnement avant défaillance de l'isolation entre spires en fonction de la tension d'essai, comme représenté sur la Figure 6, où les échelles sont logarithmiques.



Légende

Courbe 1 durée de vie pour l'isolation entre spires

Courbe 2 durée de vie pour l'isolation principale

t durée de fonctionnement avant claquage

U tension d'essai/ U_{turn} pour la courbe 1 ou tension d'essai/ U_N pour la courbe 2

Figure 6 – Durées de vie de l'isolation entre spires et de l'isolation principale

Cette courbe de durée de vie peut ensuite être comparée à celle pour l'isolation principale, et il convient qu'elle présente une durée de vie estimée plus longue à la tension de service. Etant donné qu'il n'est pas possible d'extrapoler sur une distance si grande, il suffit que la courbe de durée de vie de l'isolation entre spires soit équivalente à celle de l'isolation principale, ou plus longue. L'équivalence est soutenue par tout recouvrement partiel des intervalles de confiance de 90 % des valeurs de durée de vie et par les coefficients

d'endurance sous tension des courbes de durée de vie pour l'isolation entre spires et l'isolation principale, pour des durées de vieillissement supérieures à 1 000 h. Il est reconnu qu'une courbe de durée de vie satisfaisante peut ne pas être disponible pour la comparaison. Dans ce cas, le constructeur est responsable de la mise à disposition d'une conception satisfaisante.

9 Qualification des systèmes d'isolation à la terre

9.1 Généralités

L'accélération du processus de vieillissement conduisant à la défaillance électrique sera une caractéristique souhaitable de la méthode d'essai utilisée. Il convient de veiller à éviter l'introduction d'un mécanisme de défaillance qui ne serait pas présent en service. Lorsqu'une accélération est produite par une augmentation de l'excursion en tension (crête à crête), la technique peut modifier le niveau des décharges partielles apparaissant dans chaque impulsion. Sinon, la fréquence de répétition de la tension d'essai peut être augmentée à un niveau supérieur à la fréquence fondamentale du système d'entraînement de puissance en service. Ceci est destiné à maintenir le niveau des décharges partielles et à obtenir une accélération par une augmentation du taux de répétition. Dans cette approche, il peut y avoir une augmentation de l'échauffement de l'isolation due à des pertes dépendant de la fréquence dans le matériau et le système de répartition des contraintes, mais ceci peut être réduit par un refroidissement forcé par ventilation. Les mesures de la température de points chauds localisés sont nécessaires dans la région où les systèmes de maîtrise des contraintes sont utilisés pour assurer que le matériau d'isolation ne dépasse pas la température assignée pour sa classe thermique.

Un contrôle de la température peut être réalisé à l'aide de toute technique adaptée. Les peintures ou films thermosensibles sont simples d'utilisation mais pas très précis(es), tandis que les thermocouples peuvent présenter des difficultés au niveau du capteur électromagnétique et de l'isolation HT. Une technique de mesure non invasive, telle que la thermographie infrarouge, permet d'identifier et de quantifier simplement les points chauds en surface. Ces derniers limitent les conditions de fonctionnement de la machine. Un contrôle du processus de vieillissement peut être effectué à des intervalles appropriés en mesurant les paramètres électriques, tels que les décharges partielles, le facteur de dissipation diélectrique et la permittivité. Ces essais peuvent être réalisés à 50 Hz ou 60 Hz à des fins de diagnostic.

9.2 Méthodes d'essai

Les techniques de vieillissement sous tension accéléré sont décrites dans la CEI 61251, la CEI 62068-1 et la CEI 60034-18-32. Elles sont fondées sur une comparaison des essais de durée de vie sur le système candidat et sur un système de référence, déjà évalués pour la durée de vie en service. Un modèle de durée de vie électrique couramment utilisé est le suivant:

$$L = k \times U^{-n}$$

où:

n est le coefficient d'endurance sous tension;

L est la durée de vie de l'objet d'essai;

U est la tension de crête périodique appliquée;

k est une constante.

La technique exige des essais à trois surtensions ou plus, afin de permettre le tracé d'un graphique log-log tension appliquée / durée de fonctionnement avant défaillance. Il convient de choisir les tensions d'essai pour produire des durées moyennes de fonctionnement avant défaillance comprises entre 100 h et 3 000 h. Il convient de soumettre aux essais les systèmes candidat et de référence dans les mêmes conditions, ce qui peut impliquer toutes

les formes d'ondes de tension prescrites. Il convient d'effectuer une analyse statistique conformément aux procédures données dans la CEI 62539, afin d'établir la durée de vie moyenne dans chaque condition d'essai. Le coefficient d'endurance sous tension est la pente de la droite de régression (voir la CEI 60216-3). Il convient que la courbe de durée de vie du système d'isolation candidat soit au moins équivalente à celle d'un système de référence soumis aux essais à 50 Hz ou 60 Hz, qui s'est révélé donner une durée de vie en service acceptable. L'équivalence est soutenue par tout recouvrement partiel des intervalles de confiance de 90 % des valeurs de durée de vie et par les coefficients d'endurance sous tension des courbes de durée de vie pour les systèmes candidat et de référence, pour des durées de vieillissement supérieures à 1 000 h. La défaillance liée à l'adaptation d'une régression linéaire dans un système de coordonnées log/log indique généralement que le mécanisme de vieillissement a changé dans la plage de contraintes d'essai.

Pour l'isolation principale et l'isolation entre spires, de nombreuses publications ne montrent aucune influence essentielle de la fréquence en tension sur le nombre d'impulsions avant défaillance ou sur le nombre de cycles de tension avant défaillance. Dans de nombreux cas, par conséquent, la formule suivante peut être utilisée pour calculer la durée de vie prévue pour une tension de crête donnée.

$$L_2 = L_1 \times f_1 / f_2$$

où:

L_2 est la durée de vie à la fréquence f_2 ;

L_1 est la durée de vie à la fréquence f_1 .

La combinaison des formules pour le vieillissement dépendant de la fréquence et de la tension conduit à l'expression générale suivante:

$$L_{f_2, U_2} = L_{f_1, U_1} \times (U_1/U_2)^n \times (f_1/f_2)$$

où:

L_{f_2, U_2} est la durée de vie à la fréquence f_2 et à la tension U_2 , et

L_{f_1, U_1} est la durée de vie à la fréquence f_1 et à la tension U_1 .

A l'aide de cette formule, les essais à différentes fréquences et tensions sont possibles pour l'isolation principale et l'isolation entre spires. Une preuve expérimentale existe pour soutenir la validité de cette approche en calculant la durée de vie sous des tensions sinusoïdales et des tensions de choc au moins jusqu'à 1 kHz. Cependant, la plage de fréquences dans laquelle elle est maintenue pour tout système particulier peut être inconnue et, pour une application rigoureuse des formules (voir Annexe B), il convient de connaître la variation de l'exposant "n" durée de vie avec la fréquence. Si l'exposant "n" est inconnu, un calcul brut peut être effectué sur la base d'une plage pour "n" dans des systèmes époxy/mica de $10 < n < 12$. Le facteur prépondérant dans le vieillissement sous tension est la tension crête à crête à la fréquence fondamentale. Ceci ne coïncide pas avec la valeur crête à crête de la tension fondamentale obtenue à partir de la transformée de Fourier de la forme d'onde d'alimentation. Pour les systèmes d'isolation alimentés par convertisseurs, il y a une contribution au vieillissement à partir des sauts de tension à la fréquence d'impulsion. Néanmoins, la plupart des entraînements par convertisseur pour les machines à systèmes d'isolation de Type II sont au moins à 3 niveaux, et le vieillissement est ainsi plus faible que pour un système à 2 niveaux, parce que les tensions crête à crête à la fréquence d'impulsion sont inférieures. Il peut cependant être nécessaire de prendre en compte l'effet de vieillissement plus faible produit à partir de transitions de la tension crête à crête à la fréquence d'impulsion, et ceci peut être calculé à l'aide de la procédure décrite en Annexe B, d'après l'expression de la durée de vie générale ci-dessus.

Un calcul de la contribution au vieillissement à partir des impulsions à la fréquence de répétition pour les valeurs de "n" dans la plage comprise entre 8 et 12, et pour divers facteurs

de surtension, est présenté dans le Tableau B.1 pour le cas d'un convertisseur à 3 niveaux. Une fréquence de répétition de 1 kHz est représentative de la pratique actuellement disponible. Pour les valeurs de "n" supérieures ou égales à 10, la contribution au vieillissement à partir de la tension à la fréquence d'impulsion est insignifiante à 1 kHz.

9.3 Utilisation de données de durée de vie à 50 Hz ou 60 Hz pour prédire la durée de vie en service avec un entraînement par convertisseur

Une courbe de durée de vie type pour un système d'isolation de Type II déduite à partir d'un essai d'endurance sous tension à 50/60 Hz, est représentée sur la Figure 7. Le graphique log-log contrainte électrique sur l'isolation principale en kV/mm / durée de fonctionnement avant défaillance de l'isolation principale sur une barre stator, est tracé. La courbe de durée de vie est généralement une ligne droite, et il convient que le constructeur sache d'après l'expérience en service que la courbe représente une conception qui donnera une durée de vie en service acceptable. Pour les machines alimentées par convertisseur, la contrainte électrique est calculée sur la base de la tension crête à crête apparaissant en service à travers l'isolation principale.

S'il est prévu que le même système d'isolation puisse être soumis à une fréquence fondamentale qui est, par exemple, 10 fois supérieure à celle utilisée pour déduire la courbe, il est supposé que la courbe de durée de vie appropriée pour cette condition de fonctionnement sera déplacée vers la gauche (flèche A) d'une décade dans le temps, tel que représenté. Le constructeur peut ensuite compenser en réduisant la contrainte d'isolation principale pour déplacer cette courbe vers le bas, et ainsi rétablir la durée de vie à sa valeur d'origine (flèche B). Sinon, si la fréquence de fonctionnement représente un dixième de celle utilisée pour déduire la courbe de durée de vie, la courbe sera déplacée vers la droite d'une décade dans le temps, et la contrainte peut être augmentée pour rétablir la durée de vie à sa valeur d'origine.