

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

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

Machines électriques tournantes –

Partie 18-41: Systèmes d'isolation électrique sans décharge partielle (Type I) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par des convertisseurs de tension – Essais de qualification et de contrôle qualité



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60034-18-41

Edition 1.0 2014-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

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

Machines électriques tournantes –

Partie 18-41: Systèmes d'isolation électrique sans décharge partielle (Type I) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par des convertisseurs de tension – Essais de qualification et de contrôle qualité

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 29.160

ISBN 978-2-8322-1416-9

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Machine terminal voltages arising from converter operation.....	13
5 Electrical stresses in the insulation system of machine windings	17
5.1 General.....	17
5.2 Voltages stressing the phase/phase insulation	18
5.3 Voltages stressing the phase/ground insulation.....	18
5.4 Voltages stressing the turn and strand insulation	18
5.5 Mechanisms of insulation degradation	19
6 Types of machine insulation	20
7 Stress categories for Type I insulation systems used in converter fed machines	20
8 Design qualification and type tests for Type I insulation systems	22
8.1 General.....	22
8.2 Design qualification test.....	22
8.3 Type test.....	22
9 Test equipment.....	22
9.1 PD measurement at power frequency.....	22
9.2 PD measurement during voltage impulses.....	22
9.3 Voltage impulse generators.....	23
9.4 Sensitivity	23
9.5 PD tests.....	23
9.5.1 Power frequency voltage	23
9.5.2 Impulse excitation.....	23
10 Qualification of the design of Type I insulation systems	23
10.1 General.....	23
10.2 Approach	24
10.2.1 General	24
10.2.2 Twisted pair or equivalent arrangement	24
10.2.3 Motorette (random wound) or formette (form-wound)	24
10.2.4 Complete windings	24
10.3 Preparation of test objects	25
10.3.1 General	25
10.3.2 Turn/turn insulation samples.....	25
10.3.3 Motorette/formette test samples or complete windings	25
10.4 Design qualification tests	26
10.4.1 General	26
10.4.2 Pre-diagnostic tests.....	26
10.4.3 Diagnostic tests.....	26
10.4.4 Ageing cycle	26
10.4.5 PD tests	26
10.5 Pass criterion for the design qualification test	27
11 Type test procedure for Type I insulation systems	27
11.1 General.....	27

11.2	Power frequency PD tests	27
11.3	Impulse PD tests	28
12	Routine tests	28
13	Analysis, reporting and classification	28
Annex A (informative) Derivation of possible terminal voltages in service for a converter-fed machine		29
A.1	Calculation of d.c. bus voltage	29
A.2	Calculation of maximum peak voltages for a 2-level converter	30
Annex B (normative) Derivation of test voltages for Type I insulation systems		32
B.1	Stress categories	32
B.2	Requirements for the applied impulse voltage	32
B.3	Enhancement factors for PD tests	33
B.4	Voltage for design qualification and type tests	34
B.5	Examples of maximum peak/peak operating voltages	37
B.6	Calculation of test voltages	37
Annex C (normative) Derivation of allowable voltages in service		39
C.1	Impulse voltage insulation class (IVIC) of the machine	39
C.2	Impulse voltage insulation class assigned in special designs	39
Bibliography		41
Figure 1 – Voltage impulse waveshape parameters		13
Figure 2 – Five step phase to phase voltage at the terminals of a machine fed by a 3-level converter		15
Figure 3 – Jump voltage (U_j) at the machine terminals associated with a converter drive		15
Figure 4 – Voltage enhancement at the terminals of a motor due to reflection as a function of cable length for various impulse rise times		17
Figure 5 – Example of a random wound design		18
Figure 6 – Example of a form-wound design		18
Figure 7 – Worst case voltage stressing the turn/turn insulation in a variety of random wound stators as a function of the rise time of the impulse		19
Figure A.1 – Circuit diagram for a converter/machine system		29
Figure B.1 – Forbidden zone (shaded) for impulse tests		33
Figure B.2 – Examples of test waveforms		33
Figure B.3 – Comparison of phase/phase, phase/ground, and turn/turn voltages for a 2-level converter		35
Figure B.4 – Impulse test voltage waveforms and the levels for applying the same peak/peak voltage of $2aU_j$ on the turn/turn insulation (schematic representation)		36
Figure B.5 – Test voltages for phase/ground and turn/turn impulse tests using a unipolar impulse		38
Table 1 – Common ranges of characteristics of the terminal voltages of converter fed machines		14
Table 2 – Definition of symbols		14
Table 3 – Influence of features of the machine terminal voltage on components of Type I insulation systems		21
Table 4 – Stress categories for Type I insulation systems based on a 2-level converter		21
Table 5 – Allowable voltage waveforms for testing system components		25

Table A.1 – Examples of maximum peak voltages	31
Table B.1 – Summary of stress categories	32
Table B.2 – Summary of enhancement factors to be applied to the operating voltages.....	34
Table B.3 – Maximum peak/peak operating voltages related to U_{dc} for a 2-level converter according to the stress categories of Table 4	36
Table B.4 – Examples of maximum peak/peak operating voltage for a 500 V r.m.s. rated winding fed from a 2-level converter, according to the stress categories of Table 4.....	37
Table B.5 – Examples of maximum peak/peak test voltage for a 500 V rated winding fed from a 2-level converter, according to the stress categories of Table 4 and with EF 1,25	37
Table B.6 – Turn/turn PD test levels for special windings and twisted pairs.....	38
Table C.1 – Maximum allowable operating voltage at the machine terminals in units of U_N ...	39

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

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

FOREWORD

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

International Standard IEC 60034-18-41 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

IEC 60034-18-41 cancels and replaces IEC/TS 60034-18-41 (2006).

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

FDIS	Report on voting
2/1728/FDIS	2/1738/RVD

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

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

NOTE A table of cross-references of all IEC TC 2 publications can be found in the IEC TC 2 dashboard on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

The approval of electrical insulation systems for use in rotating electrical machines driven from voltage converters is set out in two IEC documents. They divide 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 (the person responsible for co-ordinating the electrical performance of the entire drive system) shall 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. After installation of the converter/machine system, it is recommended that the drive system integrator measures the phase/phase and phase/ground voltages between the machine terminals and ground to check for compliance.

IEC 60034-18-41

The Type I systems are dealt with in this standard. They are generally used in rotating machines rated at 700 V r.m.s. or less and tend to have random wound windings. The procedures described here are directed at:

- Qualification of the insulation system.
- Type and routine testing of the complete windings of service machines.

Before undertaking any testing, the machine manufacturer shall decide upon the level of severity that the system will be required to withstand. The severity is based on how large the voltage overshoot and how short the impulse rise time will be at the machine terminals. The machine designer then makes a choice from a table in which the range of expected overshoot voltage is divided into bands. Testing is performed at the extreme value of each band. A default value of 0,3 μ s is attributed to the impulse rise time. Other values of impulse rise time or voltage overshoot are dealt with as special cases.

In qualification testing, the insulation system is used to construct various representative test objects. These are subjected to the range of tests described in IEC 60034-18-21 or IEC 60034-18-31 with the addition of a high frequency voltage test and a partial discharge test. For the latter, it may be necessary to use impulse test equipment, as described in IEC/TS 61934. If the test object is partial discharge free under the specified test conditions at the end of the sequence of testing, the insulation system is qualified for the severity band that has been selected.

Type and optional routine tests are performed on complete windings to demonstrate that they are partial discharge free under sinewave or impulse voltage conditions (as appropriate) for the band of severity that the manufacturer has chosen. An impulse voltage insulation class is then assigned to the machine. A mechanism is described for dealing with special cases.

IEC/TS 60034-18-42

The tests for qualification and acceptance of electrical insulation systems chosen for Type II rotating electrical machines are described in this technical specification. 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 rotating machine 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.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

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

1 Scope

This part of IEC 60034 defines criteria for assessing the insulation system of stator/rotor windings which are subjected to voltage-source pulse-width-modulation (PWM) drives. It applies to stator/rotor windings of single or polyphase AC machines with insulation systems for converter operation.

It describes qualification tests and quality control (type and routine) tests on representative samples or on completed machines which verify fitness for operation with voltage source converters.

This standard does not apply to:

- rotating machines which are only started by converters;
- rotating electrical machines with rated voltage ≤ 300 V r.m.s.;
- rotor windings of rotating electrical machines operating at ≤ 200 V (peak).

2 Normative references

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

IEC 60034-18-1:2010, *Rotating electrical machines – Part 18-1: Functional evaluation of insulation systems – General guidelines*

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

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

IEC/TS 60034-18-42, *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

IEC/TS 60034-25:2007, *Rotating electrical machines – Part 25: Guidance for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply*

¹ This TS is in the process of being transformed into an IS.

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

IEC 60172, *Test procedure for the determination of the temperature index of enamelled winding wires*

IEC 60664-1, *Insulation co-ordination for equipment within low voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC/TS 61800-8, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface*

IEC/TS 61934, *Electrical insulating materials and systems – Electrical measurement of partial discharges (PD) under short rise time and repetitive voltage impulses*

3 Terms and definitions

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

3.1

partial discharge

PD

electric discharge that only partially bridges the insulation between electrical conductors

Note 1 to entry: It may occur inside the insulation or adjacent to an electrical conductor.

3.2

partial discharge inception voltage

PDIV

lowest voltage at which partial discharges are initiated in the test arrangement when the voltage applied to the test object is gradually increased from a lower value at which no such discharges are observed

Note 1 to entry: With sinusoidal applied voltage, the PDIV is defined as the r.m.s. value of the voltage. With impulse voltages, the PDIV is defined as the peak to peak voltage.

3.3

partial discharge extinction voltage

PDEV

voltage at which partial discharges are extinguished in the test arrangement when the voltage applied to the test object is gradually decreased from a higher value at which such discharges are observed

Note 1 to entry: With sinusoidal applied voltage, the PDEV is defined as the r.m.s. value of the voltage. With impulse voltages, the PDEV is defined as the peak to peak voltage.

3.4

peak (impulse) voltage

U_p

maximum numerical value of voltage reached during a unipolar voltage impulse (e.g. U_p in Figure 1)

Note 1 to entry: For bi-polar voltage impulses, it is half the peak to peak voltage (see Figure 2).

Note 2 to entry: The definition of peak to peak voltage is clarified in Clause 4.

3.5

steady state impulse voltage magnitude

U_a

final magnitude of the voltage impulse (see Figure 1)

3.6**voltage overshoot** U_b

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

3.7**peak to peak impulse voltage** $U'_{pk/pk}$

peak to peak voltage at the impulse repetition rate (see Figure 2)

3.8**peak to peak voltage** $U_{pk/pk}$

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

3.9**repetitive partial discharge inception voltage****RPDIV**

minimum peak-to-peak impulse voltage at which more than five PD pulses occur on ten voltage impulses of the same polarity

Note 1 to entry: This is a mean value for the specified test time and a test arrangement where the voltage applied to the test object is gradually increased from a value at which no partial discharges can be detected.

3.10**unipolar impulse**

voltage impulse, the polarity of which is either positive or negative

Note 1 to entry: The term impulse is used to describe the transient stressing voltage applied to the test object and the term pulse is used to describe the partial discharge signal.

3.11**bipolar impulse**

voltage impulse, the polarity of which changes alternately from positive to negative or vice versa

3.12**impulse voltage repetition rate** f

inverse of the average time between two successive impulses of the same polarity, whether unipolar or bipolar

3.13**impulse rise time** t_r

time for the voltage to rise from 10 % to 90 % of its final value (see Figure 1)

3.14**electrical insulation system**

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

3.15**formette**

special test model used for the evaluation of the electrical insulation systems for form-wound windings

3.16**motorette**

special test model used for the evaluation of the electrical insulation systems of random-wound windings

3.17**(electric) stress**

electric field in volts/mm

3.18**rated voltage**

U_N

voltage assigned by the manufacturer for a specified power frequency operating condition of a machine and indicated on its rating plate

3.19**impulse voltage insulation class****IVIC**

safe peak to peak voltage assigned by the manufacturer in relation to the rated voltage for a specified converter-driven machine and indicated in its documentation and on its rating plate

3.20**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 1 to entry: For the purposes of this standard, the fundamental frequency of the machine terminal voltage is the one defining the speed of the converter fed machine.

3.21**impulse duration****impulse width**

interval of time between the first and last instants at which the instantaneous value of an impulse reaches a specified fraction of its impulse magnitude or a specified threshold.

3.22**jump voltage**

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)

3.23**DC bus voltage**

U_{dc}

voltage of the intermediate circuit of the voltage converter (dc-link-circuit)

Note 1 to entry: For a two level converter U_{dc} is equal to U_a in Figure 1.

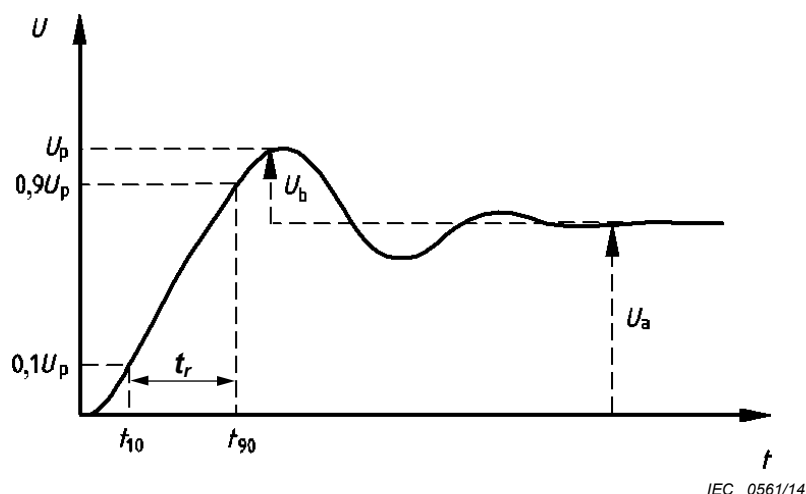
Note 2 to entry: For a multilevel converter, U_{dc} is equal to $\frac{1}{2} U_{pk/pk}$ minus the overshoot in Figure 2.

3.24**overshoot factor**

ratio of the voltage appearing at the machine terminals and the voltage at the converter for each converter level

3.25**power drive system**

complete drive module and rotating machine together with the connecting cable if necessary

**Key**

U voltage
 t time

Figure 1 – Voltage impulse waveshape parameters

4 Machine terminal voltages arising from converter operation

Modern converter output voltage rise times may be in the $0,05 \mu\text{s} - 2,0 \mu\text{s}$ range due to power semiconductor switching characteristics. The voltage appearing at the terminals of a converter driven machine may be calculated using IEC/TS 61800-8 and depends upon several characteristics of the power drive system, such as,

- a) operating line voltage of the converter;
- b) architecture and control regime of the converter;
- c) filters between the converter and machine;
- d) length and type of cable between them;
- e) design of the machine winding;
- f) design and configuration of the installation.

In order to apply this Standard 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 7).

The amplitude and rise time of the voltage at the machine terminals depend upon the grounding system, various design aspects of the cable, the machine surge impedance and the presence of any filters that increase the impulse rise time. Common ranges of characteristics of converter impulses at the machine terminals are given in Table 1.

Table 1 – Common ranges of characteristics of the terminal voltages of converter fed machines

Characteristics	Range of values (depending on ratings, characteristics and service conditions of the drive system)
Peak/peak voltage	0,5 kV – 7 kV
Impulse rise time	0,05 µs – 2,0 µs
Impulse voltage repetition rate	100 Hz – 20 000 Hz
Impulse duration	10 µs – 10 000 µs
Shape	Rectangular
Polarity	Unipolar or bipolar
Fundamental frequency	5 Hz – 1 000 Hz
Mean time between impulses	≥ 0,6 µs

For the purpose of this standard, the symbols in Table 2 are used.

Table 2 – Definition of symbols

Symbol	Parameter	Units	Type of feed
U_{line}	Phase to phase (rated) voltage	V r.m.s.	Line
U_{phase}	Phase to neutral voltage	V r.m.s.	Line
$U_{\text{max}} = \sqrt{2} U_{\text{phase}}$	Maximum phase/neutral voltage	V	Line
$U_{\text{pk/pk}}$	Peak to peak voltage	V	Converter
U_{dc}	DC bus voltage	V	Converter

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 (typically U_p up to $2U_{\text{dc}}$ between phases). The voltage overshoot is created by reflected waves at the interface between cable and machine or converter terminals due to surge impedance mismatch. It is fully explained by transmission line and travelling wave theory.

Figure 2 shows the voltage that appears (during one period at the fundamental frequency) at the machine terminals when fed from a 3-level converter.

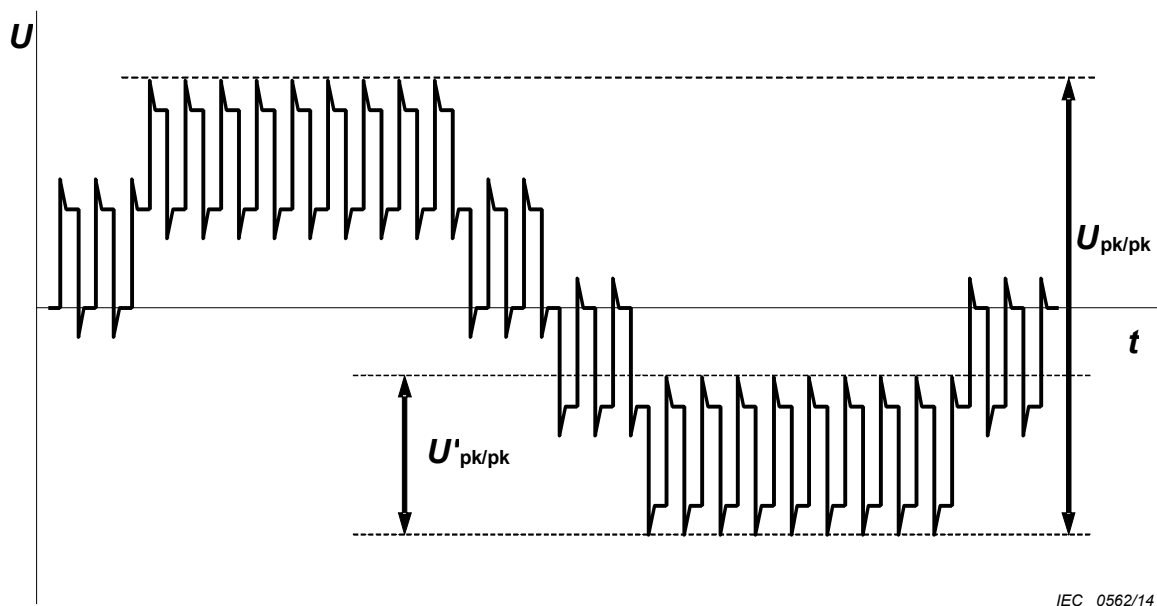


Figure 2 – Five step phase to phase voltage at the terminals of a machine fed by a 3-level converter

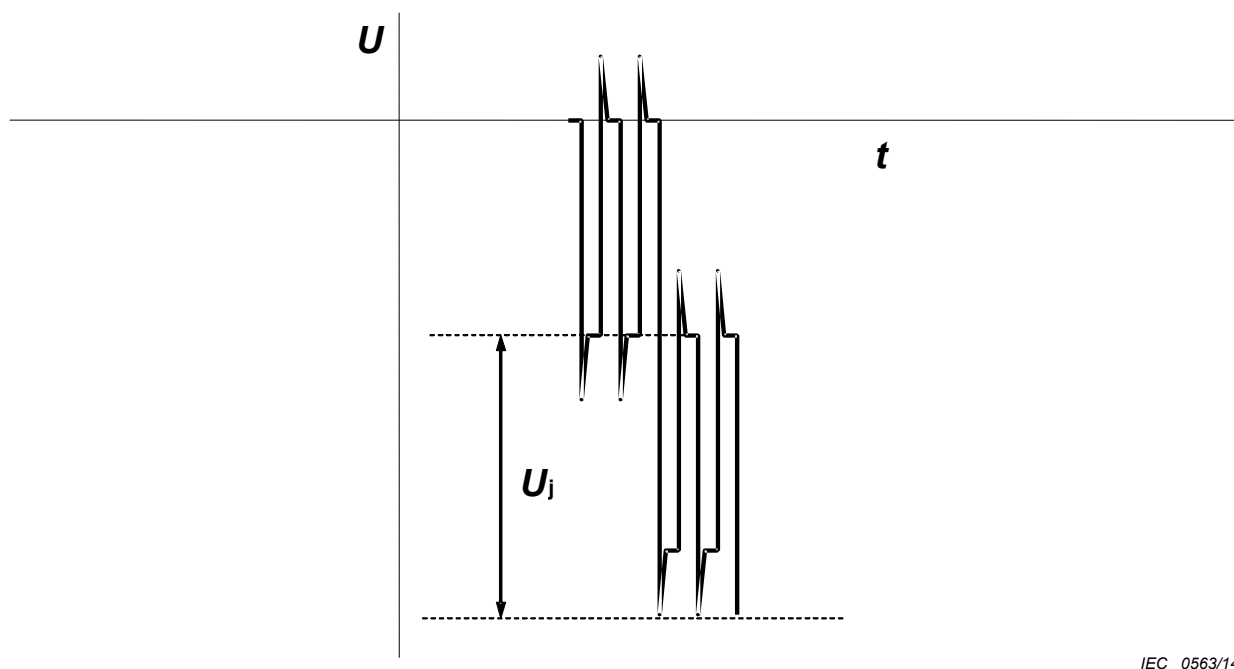


Figure 3 – Jump voltage (U_j) at the machine terminals associated with a converter drive

The maximum change in voltage, U_j , at the impulse frequency is shown in Figure 3. This parameter is important in defining the voltage enhancement that can occur across the first or last coil in the winding. A double jump transition is possible but it is the duty of the drive system integrator to ensure that the software controlling the converter drive prevents this from happening.

For an “n” level converter, the phase/phase voltage can be estimated as follows:

$$\text{Peak/peak fundamental frequency voltage} = 2(U_{dc} + U_b) \quad (1)$$

$$\text{Peak/peak impulse frequency voltage} = U_{dc}/(n-1) + 2U_b$$

The phase/ground values are estimated as follows:

$$\text{Peak/peak fundamental frequency voltage} = 0,7 \times 2(U_{dc} + U_b) \quad (2)$$

$$\text{Peak/peak impulse frequency voltage} = 0,7(U_{dc}/(n-1) + 2U_b)$$

$$\text{The jump voltage is given by } 0,7(U_{dc}/(n-1) + U_b) \quad (3)$$

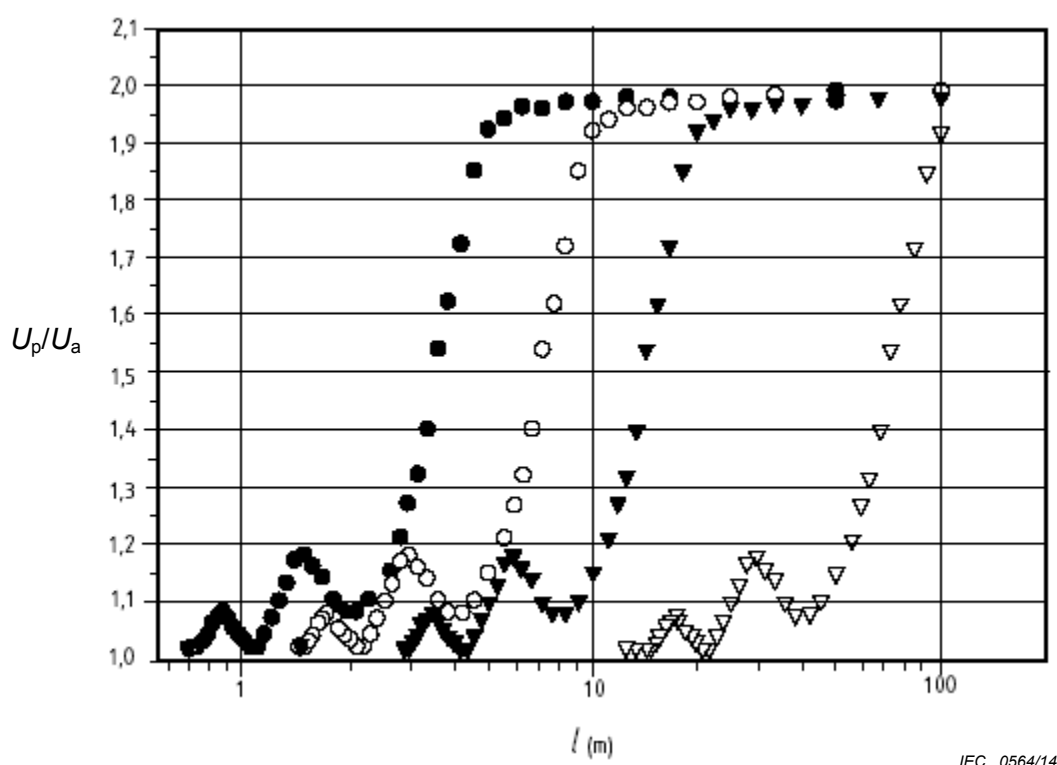
The proportion of jump voltage appearing across the first turn is obtained from Figure 7.

The value of U_b in these formulae is the value shown in Figure 1 for the phase/phase voltage on the machine terminals. The values of the phase/ground voltages estimated from these formulae may be higher or lower in practice, depending upon the grounding system, converter control regime and other factors. It is known that a sudden rise can occur in the machine ground voltage level with respect to the d.c. zero point in the converter. The theoretical rise is determined capacitively to be 1/3 which gives a residual effect of about 0,7. This would apply to simple systems where only travelling wave theory determines the factor, i.e. stress categories A, B and C (see Clause 7).

Examples of the enhancement that is produced for various rise times and cable lengths in the case of a motor driven from a converter are given in Figure 4. In this case, the enhancement to the voltage for an impulse rise time of 1,0 μ s is insignificant below about 15 m and only exceeds 1,2 when the cable length is greater than about 50 m.

Voltages above $2U_{dc}$ can be produced at the terminals of the machine by drive double transition and by a converter fed drive algorithm that does not allow a minimum time between successive pulses. Double transition occurs, for example, when one phase switches from minus to plus d.c. bus voltage at the same instant that another phase switches from plus to minus. This generates a $2U_{dc}$ voltage wave which travels to the machine and can then increase in magnitude when reflected at the machine terminals. If there is no minimum impulse time control in the drive and if the time between two impulses is matched with the time constant of the cable between the converter and the machine, an over voltage $>2U_{dc}$ can be generated at the machine terminals. The reflection can be reduced or prevented by using a filter in the converter, at the machine terminals or both.

In the event of an earth fault on one of the phases of a system where the neutral star point is not grounded, the machine may be permitted by the manufacturer to run for a period of several hours until a suitable outage can be arranged for repairs. In this case, the voltage stress on the turn to ground insulation in the other phases will increase.



IEC 0564/14

Key

● $t_r = 0,05 \mu\text{s}$ ○ $t_r = 0,1 \mu\text{s}$ ▼ $t_r = 0,2 \mu\text{s}$ ▽ $t_r = 1,0 \mu\text{s}$

l (m) cable length

U_p/U_a ratio of peak voltages at the machine and at the converter terminals

Figure 4 – Voltage enhancement at the terminals of a motor due to reflection as a function of cable length for various impulse rise times

5 Electrical stresses in the insulation system of machine windings

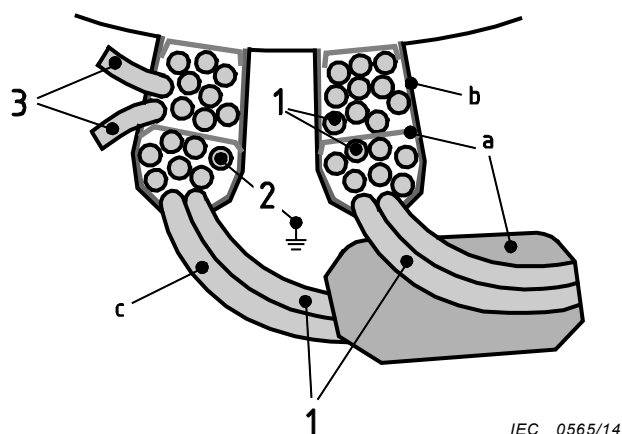
5.1 General

If a winding experiences short rise time voltage impulses of significant magnitude, high voltage stresses will be created, for example, in the following locations (Figures 5 and 6):

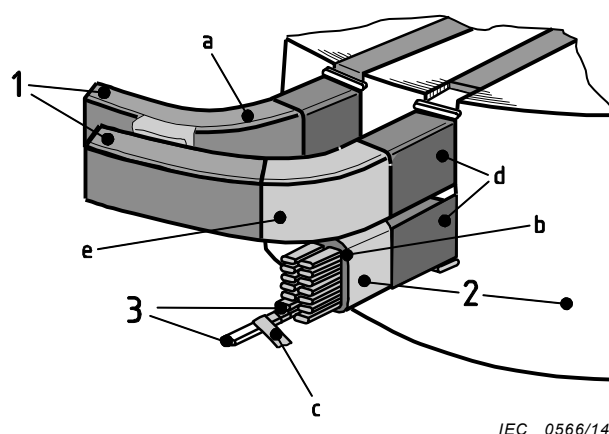
- between conductors in different phases,
- between a conductor and ground,
- between adjacent turns in the line-end coil.

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 [1]².

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.



IEC 0565/14



IEC 0566/14

Key

- | | | | |
|---|---|---|-----------------|
| a | phase insulation / overhang insulation | 1 | phase to phase |
| b | mainwall insulation | 2 | phase to ground |
| c | turn insulation | 3 | turn to turn |
| d | slot corona protection | | |
| e | overhang corona protection (stress grading) | | |

Figure 5 – Example of a random wound design Figure 6 – Example of a form-wound design

5.2 Voltages stressing the phase/phase insulation

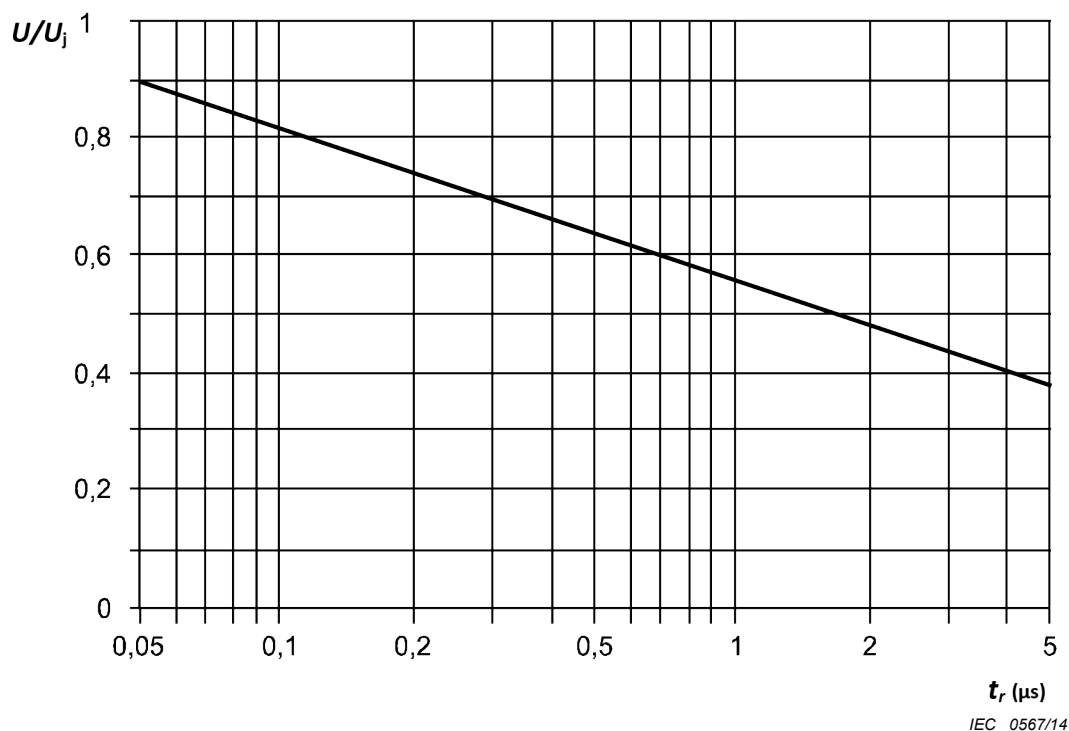
The maximum voltage stress on the phase/phase insulation is determined by the design of the winding and by the characteristics of the phase/phase voltage.

5.3 Voltages stressing the phase/ground insulation

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

5.4 Voltages stressing the turn and strand insulation

The electrical stress within the winding insulation is determined by the jump value of the phase/ground voltage and the impulse rise time of this voltage at the machine terminals. For random windings, the distribution of the transient voltage depends upon the relative position of the individual turns in the slots. Short rise time impulses result in the voltage being unevenly distributed throughout the coils, with high levels of stress present across the first turn or turns (depending upon the winding design) of the individual winding phase. In practice, the first and last turn can be adjacent to each other, in which case the turn/turn voltage can be almost equal to the voltage drop across the coil. Figure 7 shows the worst case voltage stressing the turn-to-turn-insulation in a variety of stators as a function of impulse rise time. The voltage is shown as a proportion of the phase/ground jump voltage. The data has been obtained from a combination of figures provided in References [2], [3] and [4]. If the distribution of voltage within the coils as a function of rise time is known by the manufacturer for a particular design of rotating machine, the data may be used to calculate the fraction of jump voltage stressing the interturn insulation in the worst case instead of Figure 7. This is referred to in Table B.6. The jump voltage occurs at both the rising and falling edges of the phase/ground voltage. The turn/turn voltage experiences the same effect at each edge where there is either a positive or a negative peak (See Clause B.4.).



Key

U/U_j Fraction of jump voltage stressing the turn/turn insulation

t_r Impulse rise time

NOTE 1,0 is the peak phase/ground jump voltage at the machine terminals.

Figure 7 – Worst case voltage stressing the turn/turn insulation in a variety of random wound stators as a function of the rise time of the impulse

5.5 Mechanisms of insulation degradation

In a low voltage, random or form-wound winding, the conductor insulation has a small thickness and there is often some air surrounding the wire. Additionally, in a random wound winding the first and last turns of one or more coils may be adjacent. With sufficient electric stress between turns, or to ground or to another phase, the air between the wires or to ground may experience electrical breakdown (that is, a spark) in the air. Since the insulation itself does not break down, this spark is called a partial discharge (PD). The electrons and ions created by the discharge in air bombard the wire, ground or phase insulation. In random wound windings, conventional wire insulation is a thin organic film. This film is eventually eroded by the PD, leading to insulation failure and a shorted coil. Pitting of the wire insulation and white powders are typical observable indications that PD has occurred in service. The ground insulation of high voltage windings may be attacked by PD but the designer can allow for the presence of partial discharges by incorporating materials that are resistant to deterioration by them.

A further factor which may influence the life of the insulation is the effect upon dielectric heating of the higher frequencies associated with the converter waveform. If the coils have slot corona protection and stress grading, high frequency currents in this material, caused by the drive, can lead to overheating and deterioration. Both the repetition frequency and the frequency associated with the rise time of the leading edge will create extra heating through the dielectric losses in the insulation materials. The most critical regions are the main wall insulation, the turn/turn insulation and phase to phase insulation.

6 Types of machine insulation

Two types of winding insulation are defined in IEC 60034-18-41 and IEC 60034-18-42. Type I winding insulation (Figure 5) is not expected to experience PD activity during its life in any parts of its electrical insulation. Type II winding insulation (Figure 6) is likely to have to withstand PD during its life in some part of its electrical insulation and should therefore contain materials that resist PD. Machines with a rated voltage ≤ 700 V r.m.s. may have either Type I or Type II winding insulation. Above 700 V r.m.s., the winding insulation is usually Type II. Manufacturers typically 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 for the insulation system of the winding, although the manufacturer may still assign a rated voltage for 50 Hz/60 Hz operation and put it on the rating plate of the machine. In order to address this problem, a new definition of impulse voltage insulation class is introduced. This is to be specified additionally in the documentation and on the rating plate as described in Annex C. The insulation classification of Type I is determined by the absence of partial discharges in service or when subjected to the test procedures described in this standard.

7 Stress categories for Type I insulation systems used in converter fed machines

In order to achieve sufficient reliability of the power drive systems, the electrical stress and the strength of its machine winding insulation systems need to be co-ordinated. Either:

- a system supplier takes responsibility for this co-ordination if he supplies a complete power drive system and thereby ensures component compatibility, or
- the drive system integrator shall specify to the machine designer the voltages that will appear at the machine terminals, to ensure its fitness for this purpose, or
- the machine manufacturer shall indicate the voltages for which the winding insulation system has been designed to operate reliably under specific converter conditions.

This information should be included in the purchase specification or in the offer documentation of the manufacturer, in addition to the traditional features such as rated voltage, thermal class, humidity, etc. Providing all the necessary information on the machine, converter and connecting cable is available, the characteristics of the voltages seen at the machine terminals may be calculated using the methodology described in IEC/TS 61800-8. Specifically, the limiting values shall be defined for the following parameters of the voltage that appear at the machine terminals. Repetition frequency is not considered a critical parameter in the qualification of Type I insulation systems.

- a) The peak impulse voltage (0 to peak) that is expected to occur at the machine terminals (U_p for a 2-level converter as in Figure 1).
- b) The rise time, t_r , of the impulses.

Table 3 gives an indication of the degree to which the components of a Type I insulation system are affected by each of these features of the converter waveform. Note that the critical influence on turn/turn insulation is a combination of impulse rise time and the jump in impulse voltage which takes place, ΔV .

Table 3 – Influence of features of the machine terminal voltage on components of Type I insulation systems

Insulation component	Fundamental frequency	Impulse voltage repetition rate	Peak/peak impulse voltage (Fundamental frequency)	Peak/peak impulse voltage (Impulse voltage repetition rate)	Jump voltage	Impulse rise time
Turn to turn insulation	○	○	○	○	●	●
Main wall insulation	○	○	●	●	○	○
Phase/phase insulation	○	○	●	●	○	○
NOTE ○ Less significant ● More significant						

Experience has shown that there are only a few combinations of voltage overshoot and impulse rise time which are required in practice to satisfy most applications. There are four overshoot stress categories (Table 4). For the rise time, a default value of 0,3 μs is specified. While the categories are partly arbitrary in nature, they help to qualify insulation systems for converter operation in voltage classes, similar to the qualification of insulation systems for temperature classes, according to IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31. Where the application of the machine is unknown, a stress category C is recommended. The treatment of special cases is described in Clause C.2.

Table 4 – Stress categories for Type I insulation systems based on a 2-level converter

Stress category	Overshoot factor (OF) U_p/U_a	Impulse rise time t_r μs
A – Benign	OF $\leq 1,1$	0,3
B – Moderate	$1,1 < \text{OF} \leq 1,5$	
C – Severe	$1,5 < \text{OF} \leq 2,0$	
D – Extreme	$2,0 < \text{OF} \leq 2,5$	

The benign level of overshoot factor given in Table 4 relates to the case of a converter directly connected to the machine or through a short cable. However, it is recognised that in practice a theoretical value of 1,0 for U_p/U_{dc} cannot generally be met as it would require there to be no overshoot at all in the voltage appearing at the machine terminals. In order to allow for this practical consideration, the value for stress category A has been raised by 10 % to 1,10. The value of 2,0 arises from the condition for a converter connected to the machine through a long cable. The band from 1,1 to 2,0 has been split into two parts for practical purposes. A limit of 2,5 has been applied to the most extreme conditions likely to be experienced in service. Examples of when this may arise are if regenerative breaking can occur or in specific crane applications where the earthing arrangement of the converter may introduce oscillations in the grounding of the converter signal when a single d.c. system is driving several converters in an extended complex drive system [2]. In Table A.1, the use of these factors is demonstrated in the calculation of maximum peak voltages for various overshoot factors.

The qualification and type testing for a particular combination of stress categories should be performed at the most severe value for the overshoot factor. The tolerance in the value of the rise time is specified in Clause B.2.

8 Design qualification and type tests for Type I insulation systems

8.1 General

There are two stages to the testing of electrical insulation for machines to be fed from converter drives. The first stage is qualification of the materials, insulation system design and manufacturing technique. For Type I insulation systems, it is carried out using motorettes or formettes that undergo thermal cycling and conditioning procedures which include mechanical vibration, moisture exposure and high voltage. Diagnostic tests are performed on these samples and also on complete windings with the aim of assessing the absence of PD. The second stage is a type test performed on the complete winding or machine.

On the basis of these qualification and type test results, a machine is assigned an impulse voltage insulation class, which defines the maximum allowable voltage in units of U_N stressing the parts of the insulation system in converter-fed service (see Annex C).

8.2 Design qualification test

For the purposes of this standard, a qualification test is used to investigate the capability to withstand various stresses. For Type I insulation systems, it is based on PDIV tests before and after thermal cycling and other tests as defined in IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31, as well as voltage stressing at one of the stress category levels defined in Clause 7, with the voltage increased by the appropriate enhancement factor described in Clause B.3. It is only necessary to perform thermal ageing at any one of the three ageing temperatures specified in IEC 60034-18-21 or IEC 60034-18-31 if the thermal class for the insulation system has already been determined through testing according to these two standards.

8.3 Type test

In the case of Type I insulation systems, PD tests are undertaken to demonstrate the absence of partial discharges [5][6]. The complete winding or machine is subjected to the voltage appropriate to the selected stress category (Table 4), enhanced by a factor (Table B.2). For example, if the application is for a machine which is to be driven by a voltage where the overshoot factor at the terminals is 1,3 (moderate) the stress factors to be used in calculating the test voltage are 1,5 (overshoot) and 0,3 μ s (rise time see Clause B.1).

9 Test equipment

9.1 PD measurement at power frequency

A conventional laboratory PD measurement device, using either a high voltage coupling capacitor or a radio frequency current transformer, can be used when the applied voltage to the test object is a sinusoidal 50 Hz or 60 Hz waveform. Details of the test equipment and methods are presented in IEC/TS 60034-27. Use of 50 Hz or 60 Hz applied voltages together with the PD test method described in IEC/TS 60034-27 should be reserved for capacitive test objects such as individual coils, formettes and motorettes.

9.2 PD measurement during voltage impulses

Conventional PD test devices for use with 50 Hz/60 Hz voltages, such as described in IEC/TS 60034-27, cannot generally be used when the applied voltage is a short rise time voltage impulse. A rise time of 0,1 μ s has a harmonic content with frequencies of more than 3 MHz. This means that the voltage impulse will have components within the pass band of most IEC/TS 60034-27 style detectors, resulting in a displayed signal that may be hundreds of times the magnitude of the partial discharge pulses. For this reason, it is important to ensure that the partial discharge pulses are distinguished from the high frequency components of the voltage impulses. In addition, the voltage impulses may be of sufficiently high magnitude to destroy the electronics of the partial discharge detector.

To distinguish the partial discharges from the short rise time components of the voltage impulses, a different type of PD detector is needed. The detector should reduce all frequency components from the impulse voltage to less than the high frequency components associated with the partial discharges. The display can be a standard oscilloscope or a pulse magnitude analyser. Guidance is given in IEC/TS 61934 on the method and equipment to be used. It is essential that the PD caused by short rise time impulses are separated from any residue of the impulse voltage. Note that PD remote from the PD sensor may not be detected.

9.3 Voltage impulse generators

Partial discharge tests under impulse voltage conditions require an impulse generator. To simulate properly the impulses for the relevant stress category, the voltage impulse generator should be capable of producing a rise time that is equal to $0,3 \mu\text{s} \pm 0,2 \mu\text{s}$. A larger tolerance may be acceptable for high capacitance windings (see Clause B.2). The impulse generator should have a controllable output magnitude from zero volt to the highest voltage required for the winding voltage rating. When reporting results, the following shall be provided.

- a) The PD sensitivity level, background noise level and detection system noise level as defined in IEC/TS 61934.
- b) The applied impulse voltage under load (test object) and confirmation of compliance with Figures B.1 and B.2.
- c) A photographic or digital record of the impulse waveform at the machine terminals.
- d) The presence or absence of the rotor for tests on complete stator windings.

Reporting of the peak/peak voltage of the impulse generator output and whether it is unipolar or bipolar is advisable.

9.4 Sensitivity

In general, the sensitivity of a partial discharge detector falls as the impedance of the load decreases (or its capacitance increases). As a guide, the sensitivity expected for qualification and type tests covered in this standard should be 1 pC per nF of capacitive load at 50 Hz/60 Hz, with a minimum sensitivity of 1 pC. A measurement system capable of achieving this degree of sensitivity is considered to be sufficiently sensitive to undertake PD tests on inductive loads when equating impedances.

9.5 PD tests

9.5.1 Power frequency voltage

For the purpose of this standard, partial discharge freedom is defined as being less than 5 pC for turn/turn samples and for motorettes and formettes when measurements are made at 50 Hz/60 Hz. These values are also the maximum noise levels permitted during measurements. The PD test is performed according to the procedures in IEC/TS 60034-27.

9.5.2 Impulse excitation

PD tests with impulse voltages are performed according to IEC/TS 61934. The background noise level is given in mV. This background noise level and the sensitivity according to IEC/TS 61934 shall be reported.

10 Qualification of the design of Type I insulation systems

10.1 General

For Type I systems, tests are not carried out to achieve failure by electrical breakdown. The test samples are subjected to thermal and mechanical cycling as described in IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31 together with various electrical withstand tests. After each sub-cycle,

the test objects are given a partial discharge diagnostic test and the end of test occurs when the PD inception voltage falls below the specified test voltage for the chosen stress category.

Qualification is by comparison with the performance of a reference system as defined in 4.3 of IEC 60034-18-1:2010 which has been qualified under the conditions in 10.4. The candidate shall endure the same, or more, ageing cycles than the reference system without PD occurring below the specified test value. The inception voltage is the lowest voltage at which partial discharges can be detected. In the case of power frequency, measurements are made according to IEC/TS 60034-27, within the limit of sensitivity described in 9.4. In the case of the PD measurement by impulse voltage, tests are performed according to IEC/TS 61934, which describes the sensitivity checks and reporting requirements.

Successful service experience may have enabled a manufacturer to assign a stress category to a machine using a specific design of insulation system. In this case and with the agreement of the purchaser, this experience may be used as an alternative way to qualify the insulation system for converter-fed applications.

10.2 Approach

10.2.1 General

Type I insulation systems are intended for use in the absence of partial discharge activity throughout their lifetime. It is essential to measure whether partial discharge occurs at the specified test voltage (see Clause B.6). The allowable voltage waveshapes for the different insulation system components are shown in Table 5 and Figures B.1 and B.2. The test samples are to be made using the materials and manufacturing methods applicable to production. They may represent either part of the insulation system or the insulation system in total.

10.2.2 Twisted pair or equivalent arrangement

Twisted pairs or parallel adjacent conductors, in the case of flat wires, may be used for testing turn/turn behaviour in order to establish the voltage stress level to be used between parallel conductors during the motorette/formette test. Sine and impulse voltages are assumed to give equivalent results in terms of PD inception voltage because the voltage distribution experienced in a complete winding is not represented. Consequently, either voltage waveform may be used in testing for PD inception. The voltage stress shall be raised above the average stress per turn expected in service to account for the stress concentration described in 5.4. The test levels specified in Annex B are peak/peak.

10.2.3 Motorette (random wound) or formette (form-wound)

These models may be used to represent phase/phase and phase/ground insulation. Turn/turn insulation may also be represented by the use of parallel conductors, when sinewave voltage may be used. This model arrangement should be tested according to Table 5. The applied voltages stressing the model insulation components should reproduce the voltage stresses occurring within the complete machine in service.

10.2.4 Complete windings

This allows phase/phase and phase/ground insulation to be tested. Turn/turn insulation in conventional windings should be tested by the use of impulse voltage. The advantage of an impulse wave shape for testing is that all areas of the winding can be stressed in a representative way, even if the star point is connected. Nevertheless, it is important to take account of the voltage distribution within the winding. Tests should be performed on impregnated samples where the service machine is to have impregnated windings.

When the test object is a complete winding and the capacitance between the winding and ground is large, the rise time of the impulse voltage applied to the test object may become longer than the original rise time of the impulse generator. This phenomenon may occur when

the impulse generator cannot provide enough capacitive current for the test object to generate a steep-fronted voltage rise. It may be overcome by improvements to the current capacity and output impedance of the impulse generator. In recognition of the difficulty in achieving the required rise time when testing large machines using commercially available impulse generators, the tolerance on the rise time of the waveform is relaxed for larger machines as described in Clause B.2.

Sinewave testing of PD activity is allowed if a special winding is prepared in which pairs of wires are used and the maximum voltage that is expected to develop across two neighbouring turns is applied between them. The occasions where sinewave or impulse voltage shall be used are given in Table 5.

Table 5 – Allowable voltage waveforms for testing system components

Component to be tested	Design qualification tests				Type test	
	Twisted pair or equivalent		Motorette or formette or complete winding		Complete winding	
	Sine	Impulse	Sine	Impulse	Sine	Impulse
Turn/turn	✓	✓	*	✓	*	✓
Phase/phase	No	No	✓	✓	✓	✓
Phase/ground	No	No	✓	✓	✓	✓
* A special test winding is required in which the turn/turn insulation is simulated by at least two electrically isolated conductors wound in parallel, one of which is grounded and the other is energised.						

10.3 Preparation of test objects

10.3.1 General

The test samples should be as close as possible to the designs described in IEC 60034-18-21 for random wound samples and IEC 60034-18-31 for form-wound samples or to the production winding.

10.3.2 Turn/turn insulation samples

In the turn/turn test, the PDIV or RPDIV is measured on a simple twisted pair sample (see IEC 60172) or equivalent arrangement. This test may be the basis for establishing the voltage stress level to be used between parallel conductors during the motorette/formette test.

Partial discharge tests on impregnated twisted pair samples may not be used to assess the impregnation resin and manufacturing route used in motorettes or formettes or a complete winding. For that evaluation, only motorettes/formettes or complete windings are allowed.

10.3.3 Motorette/formette test samples or complete windings

The samples are made using the same materials and processes that are applied to service coils. Where phase/phase insulation is to be used, as in the case of two coils of different phases occupying the same slot, the model or complete winding shall reproduce this design feature. Tests should be performed on impregnated samples where the service machine is to have impregnated windings. The phase-to-phase and main wall insulation should replicate all creepage distances and clearances (phase to phase) found within the production winding. The samples should replicate production insulating materials and thicknesses for each type of insulation to be tested. In the case of testing with complete windings, the procedures given in 11.2 and 11.3 shall be followed.

10.4 Design qualification tests

10.4.1 General

The aim is to perform thermal ageing tests on the components and related parts of the insulation system, according to IEC 60034-18-21 or IEC 60034-18-31, and to determine at what point PD inception occurs below the specified test voltage. The stress category for which the system is to be qualified (Clause 7), the ageing procedure and diagnostic data shall be reported at the conclusion of the test. The candidate insulation system design is deemed to be qualified if it endures the same or more ageing cycles (without the PD inception occurring below the specified test values) than a reference system with proven service experience. There shall be at least five samples on which PD tests are performed in order to achieve a statistically valid outcome to the test, except in the case of complete windings where one sample is adequate.

10.4.2 Pre-diagnostic tests

A pre-diagnostic electrical ageing test shall be undertaken for 24 h at ambient temperature in which an elevated frequency is applied, with the voltage appropriate for the chosen stress category enhanced by a factor according to Table B.2. The purpose of this test is to detect at an early stage the presence of any dielectric materials which have high loss tangent and, although performing satisfactorily at power frequencies, may result in overheating at the higher frequencies encountered during converter operation. The choice of frequency is determined by the maximum impulse voltage repetition rate expected in service.

10.4.3 Diagnostic tests

Diagnostic tests shall be performed on samples prior to the first ageing cycle and after each ageing sub-cycle as follows. Each electrical diagnostic test shall be performed on each coil of each motorette/formette or winding component. In addition to the diagnostic tests specified in IEC 60034-18-21 or IEC 60034-18-31, a PD test shall be undertaken to check whether PD inception has occurred at the specified test level (Table 4 and Clause B.1).

10.4.4 Ageing cycle

The appropriate thermal ageing sub-cycles specified in IEC 60034-18-21 or IEC 60034-18-31 should be applied to the test samples in order to qualify the systems for the required thermal class. If the thermal class for the insulation system under test has already been determined through testing according to IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31, it is only necessary to perform ageing at one of the appropriate temperatures. The specified diagnostic sub-cycles in IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31 shall also be applied. These shall include the mechanical, moisture and voltage tests. It should be noted that moisture may affect the PD test results. For this reason, the moisture test shall be performed at a different stage of the procedure so that the PD test at the end does not follow it immediately.

10.4.5 PD tests

With regard to the PD tests, they should be undertaken:

- a) Phase/phase.
- b) Phase/ground.
- c) Turn/turn.

It is only necessary for the voltage in the PD test to be raised to the test value and to ensure that PD inception has not taken place. It is not necessary for the inception voltage to be measured. During these tests, all sensors embedded within the winding shall be connected electrically to the stator core.

For the phase/ground insulation, the test shall be performed at each phase terminal to ground consecutively, with the other phase terminals and the core grounded. For phase/phase

insulation, the test voltage should be applied in turn between each terminal and the other two with the core floating. In the case of sinewave AC voltage application, it will be necessary to disconnect each phase winding before this test. Each of the three possible combinations shall be tested in turn. The turn/turn test may be undertaken with sinewave AC voltage when parallel conductors are used. Otherwise, the voltage stress between turns is generated by means of impulse voltage test equipment. It will be necessary to detect the partial discharge activity during these tests with measuring equipment capable of operating under impulse conditions (see IEC/TS 61934).

A visual inspection of the test samples to observe the condition of the insulation materials should be performed and reported but this is not an end-point criterion for evaluation.

10.5 Pass criterion for the design qualification test

The pass criterion for qualification of a Type I test sample is that partial discharge inception is above the operating voltage for the selected stress category voltage (Tables B.3 and B.4), multiplied by an enhancement factor (Table B.2), with testing performed on samples which have had thermal ageing. The candidate system shall endure the same or more ageing cycles than the reference system without the PD inception occurring below the specified value. An example of how to calculate the test voltage is described in Clause B.6.

Where partial discharge tests are performed under impulse conditions, the impulse voltage shall conform to the requirements described in Clause B.2.

11 Type test procedure for Type I insulation systems

11.1 General

The type tests are performed on a complete winding or machine. Acceptance is achieved through a series of tests in which the PD inception voltage shall exceed specified values. Tests are performed under impulse conditions or at power frequency, according to Table 5. If the design qualification testing has been performed successfully on a complete winding, the insulation system has effectively passed its type test and no additional type test is required.

The testing with sinusoidal voltage at power frequency when all phases can be separated is more easily performed and leads to conservative test results. The impulse testing is a more realistic representation of the expected stress under converter. In addition, an impulsive voltage waveform as close as possible to the real one provided by the converter shall be available for the test. It shall in any case conform to Figures B.1 and B.2a. The results may differ due to the different test voltage distributions within the winding under test [2].

For sinewave testing, PD inception is recognised when there is at least 1 pulse detected per cycle. For impulse testing, the equivalent test is for there to be at least one pulse detected during all the impulses which occur in one fundamental operating cycle.

Partial discharge testing is performed at the maximum peak/peak operating voltage multiplied by an enhancement factor. An example of how to calculate the test voltage is described in Clause B.6. The temperature of the winding shall be $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. This test is performed by agreement between the purchaser and manufacturer.

11.2 Power frequency PD tests

The complete winding is first of all subjected to partial discharge tests at 50 Hz/60 Hz as follows. The operating voltage levels given in Table B.3 are increased by the relevant enhancement factor in Table B.2. If the partial discharge inception voltage is below the test voltage, the winding has failed.

- a) A phase/ground PD test is performed between all the phase terminals and the core. It is not necessary to disconnect any windings.

- b) A phase/phase PD test is performed with the core floating and the star point disconnected. For delta windings, all the phases should be disconnected and the core floating. If the star/delta point cannot be disconnected to isolate the phases, impulse testing shall be used.

11.3 Impulse PD tests

Impulse testing is more representative of service [4][5][6]. The impulse shape may influence the test result and therefore an impulsive voltage waveform as close as possible to the one provided by the converter in service shall be used for the test. If the repetitive partial discharge inception voltage is below the specified test voltage, the winding has failed.

- a) Perform a phase/ground PD test with impulse voltage having the expected rise time from the converter and with the specified waveform according to Figure B.2. The rise time can be longer than the specified one as it is less significant according to Table 3. With a longer rise time, overstressing of the turn/turn insulation is reduced. The test should be performed at each phase terminal to ground consecutively, with the other phase terminals and the core grounded. Note that the impulse test voltage is applied not only to the phase/ground insulation but also to the phase/phase insulation. Therefore, if the specified phase/ground test voltage is higher than the phase/phase one, the phase/ground insulation shall be tested using power frequency voltage so that no stress occurs on the phase/phase insulation.
- b) Perform a phase/phase PD test with impulse voltage of the specified waveform according to Figure B.2. The impulse test may only be performed if no PD inception has been detected during the phase/ground insulation test. The rise time may be longer than the specified one as it is less significant according to Table 3. In this way, overstressing the turn/turn insulation can be reduced. The test voltage should be applied in turn between each terminal and the other two with the core floating. In this way, overstressing the phase/ground insulation is reduced.
- c) Perform a turn/turn insulation test by applying impulse voltages between each phase terminal and ground consecutively, with the other phase terminals and the core grounded. The impulse voltage rise time shall be in accordance with the values given in Table B.1 and Figures B.1 and B.2 and the amplitude in accordance with Clause B.6. If the RPDIV is below the pass criterion, the winding has failed. If the RPDIV is above the pass criterion, the winding has passed the test. If the machine is to be assigned a special impulse voltage insulation class for the turn/turn insulation (see Clause C.2), this test is performed using parallel conductors in the winding if no other way is possible.

12 Routine tests

It is good practice to perform a routine test on each winding. For this purpose, it is recommended that the tests described in 11.2 and 11.3 are performed in agreement between the manufacturer and customer.

13 Analysis, reporting and classification

The approach given in 6.2 of IEC 60034-18-1:2010 to analysis, reporting and classification should be adopted so that all relevant data is analysed correctly and reported in a traceable manner. In particular, a photographic record of the impulse voltage waveform at the machine terminals during tests shall be provided.

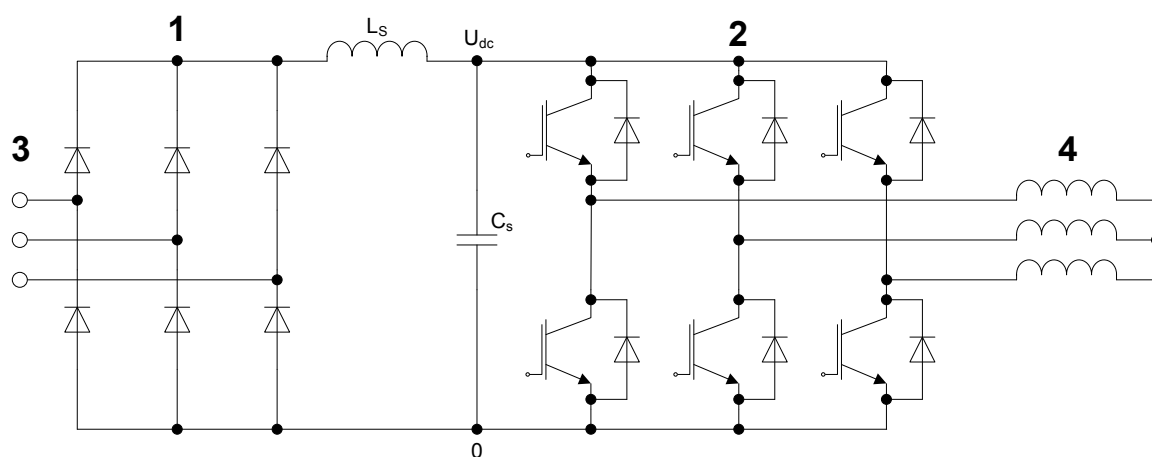
Annex A (informative)

Derivation of possible terminal voltages in service for a converter-fed machine

A.1 Calculation of d.c. bus voltage

A U-converter, pulse width modulation (PWM) or vector machine power control generates rectangular waves of fixed amplitude voltage that have varying width and repetition rate. The voltage of the impulses at the output of the converter is not more than the d.c. bus voltage (U_{dc}). This voltage depends on the rectified mains voltage or braking voltage level or power factor correction regulation voltage.

A simplified circuit diagram for a converter/machine system is shown in Figure A.1.



IEC 0568/14

Key

- 1 Rectifier
- 2 PWM converter
- 3 AC input
- 4 Machine winding

L_s and C_s are system inductance and capacitance

Figure A.1 – Circuit diagram for a converter/machine system

As a first step, it is necessary to define a neutral point from which all voltages may be referenced. For example, in a 3-phase system:

$$u_1(t) = \sqrt{2}U_{\text{phase}} \sin(\omega t)$$

$$u_2(t) = \sqrt{2}U_{\text{phase}} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_3(t) = \sqrt{2}U_{\text{phase}} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

This may be extended to a multiphase system. The general law for defining the magnitude of the voltage of a multiphase a.c. voltage after rectification is given by:

$$U_{dc} = a \left(\frac{\varphi}{\pi} \right) \sin \left(\frac{\pi}{\varphi} \right) U_{max} = k \cdot U_{max}$$

Where:

k is a constant;

a is the rectifying type ($a = 1$ for half wave rectification or $a = 2$ for full wave rectification);

φ is the number of phases (minimum of 2).

The formula only applies to balanced systems and so φ has a minimum value of 2. In the special case of a single-phase drive, it is necessary to consider the voltage to be a combination of two voltages, each $\sqrt{2}U/2$, with $\varphi = 2$.

The voltage at the output of the d.c. bus (U_{dc}) and therefore the peak value of the output voltage of the converter may be calculated using the above formula. For example, in the general case of a three-phase sinusoidal voltage fully rectified it leads to

$$U_{dc} = 2 \cdot \frac{3}{\pi} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{3} \right) \cdot \sqrt{2}U_{phase} = 2 \cdot \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sqrt{2}U_{phase} = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{3} \sqrt{2}U_{phase} \text{ and}$$

$$\sqrt{3}U_{phase} = U_{line} \text{ (that is, the r.m.s. phase to phase voltage).}$$

$$\text{Therefore, } U_{dc} = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2}U_{line}$$

For example, if $U_{line} = 500 \text{ V r.m.s.}$ then

$$U_{dc} = 500 \frac{3}{\pi} \sqrt{2} = 675 \text{ V} = 1,35U_{line} = 1,65U_{max}$$

The factor of 1,35 has been derived from theoretical considerations but in practice may be larger. For example, in cases of regeneration, the DC bus voltage maximum limit is the cut-off voltage in the drive, which will be much higher than the mains derived DC bus voltage.

A.2 Calculation of maximum peak voltages for a 2-level converter

The peak voltages are a consequence of the cable and machine arrangements, which result in overshoot voltages of $0 U_{dc}$, $0,5 U_{dc}$, U_{dc} or $1,5 U_{dc}$ superimposed on the converter output voltage. In order to allow for practical considerations, the value of overshoot factor for the lowest stress category is raised to 1,1. The values shown in Table A.1 arise from the following calculation.

$$U_{dc} = \text{DC link voltage} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2}U_{line} = \frac{3}{\pi} \sqrt{3}U_{max}$$

Phase/phase voltage on the machine = DC link voltage $\times$ overshoot factor (1,1, 1,5, 2 or 2,5).

To convert to units of U_{max} , the voltage is divided by the maximum phase/neutral voltage for the system as calculated in Clause A.1.

Table A.1 – Examples of maximum peak voltages

Rated voltage $U_{r.m.s.}$	U_{dc} V	Overshoot factor U_p/U_a	U_p V	U_{max} V	$U_{p/p} / U_{max}$
500	675	1,1	743	409	1,82
500	675	1,5	1 013	409	2,48
500	675	2	1 350	409	3,30
500	675	2,5	1 688	409	4,13

Annex B (normative)

Derivation of test voltages for Type I insulation systems

B.1 Stress categories

The test voltages to be used in this standard for qualification and type testing of an insulation system are derived from the stress category that has been selected. The stress categories given in Clause 7 provide operating ranges for the peak voltage appearing at the terminals of a rotating machine driven from a 2-level converter and the default rise time of the impulses. A careful selection shall therefore be made of the specified tests so that appropriate testing is performed on the insulation system. The stress categories are shown again for convenience in Table B.1.

Table B.1 – Summary of stress categories

Stress category	Overshoot factor (OF) U_p/U_a	Impulse rise time t_r μs
A – Benign	$OF \leq 1,1$	0,3
B – Moderate	$1,1 < OF \leq 1,5$	
C – Severe	$1,5 < OF \leq 2,0$	
D – Extreme	$2,0 < OF \leq 2,5$	

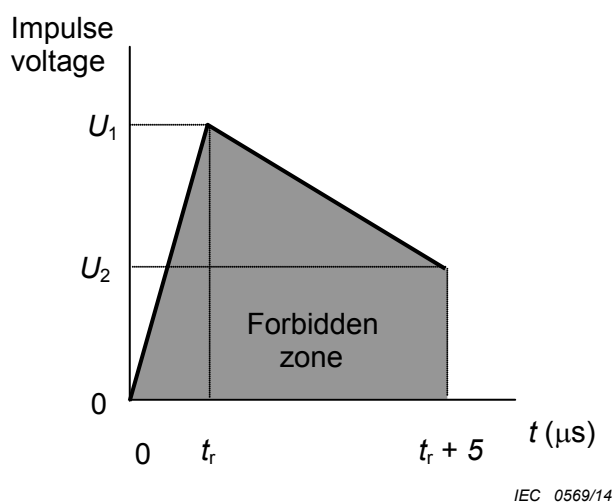
B.2 Requirements for the applied impulse voltage

The overall width of the impulse to be used in performing the RPDIV tests shall be long enough to allow initiation of a PD pulse [5]. The impulse waveshape to be used consists of a rising front with rise time 0,3 μs . The average peak voltage shall gradually decrease to be equal to, or exceed the slope from U_1 to U_2 until a time of 5 μs has elapsed. This is explained in terms of a forbidden zone which the applied impulse should not enter, as shown in Figure B.1. In recognition of the difficulty which may occur in achieving the required rise time using commercially available impulse generators, the tolerance on the rise time of the waveform is relaxed to $\pm 0,2 \mu s$.

It is accepted that, in practice, it may not be possible to achieve precise values for the impulse waveshape and the following deviations are permitted.

- The start and end of the rising front are permitted to deviate from linearity by 10 %.
- Voltage oscillation is permitted at the peak of the impulse voltage, provided the average voltage does not enter the forbidden zone.
- The peak of the impulse voltage shall not be less than 97 % of the value appropriate for the chosen stress category.

Examples of acceptable and unacceptable impulse voltage waveforms are shown in Figure B.2.

**Key**

U_1 Test voltage

$U_2 = U_1 \times U_a/U_p$

Figure B.1 – Forbidden zone (shaded) for impulse tests

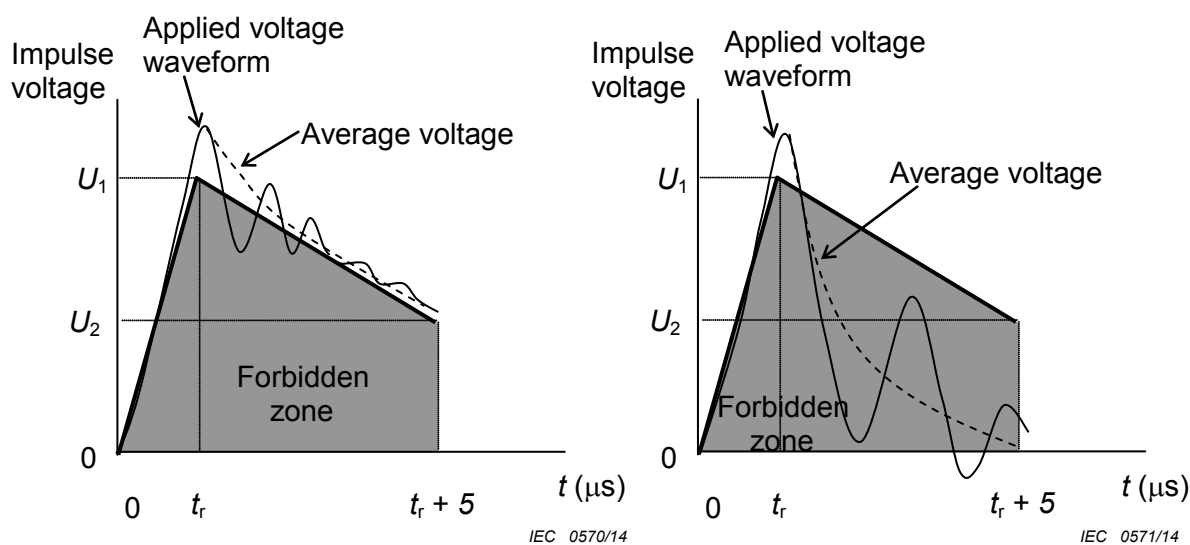


Figure B.2a – Acceptable waveform for the voltage used in the impulse PD test (key as in Figure B.1)

Figure B.2b – Unacceptable waveform for the voltage used in the impulse PD test

Figure B.2 – Examples of test waveforms

B.3 Enhancement factors for PD tests

There are various factors that should be considered for enhancement of the maximum peak/peak operating voltages specified in the qualification and type tests for Type I insulation systems. The first arises from the requirements of IEC 60664-1, which lists safety factors by which the PD test voltages should be increased. A safety factor of 1,25 relates to the hysteresis effect by which PDEV is said from practical experience to be 25 % below the PDIV. This is relevant if PD activity is initiated by a transient overvoltage exceeding the normal peak voltage.

A second enhancement factor to be considered arises from the claim in 7.6 of IEC/TS 60034-25:2007 that an increase in winding temperature from 25 °C to 155 °C typically results in a fall in the PDIV by 30 %. For phase to ground testing, this factor is reduced due to the cooling effect of the slot on the neighbouring turns and only adds a further 5 % – 10 %.

Finally, the effect of thermal ageing should be considered. If the machine is being operated near to the class temperature of the insulation, it is reasonable to expect PD inception voltages to fall as a result of thermal ageing in service. It is a requirement for Type I machines that they remain PD free for their lifetime. An empirical factor should therefore be introduced to raise the test voltages on new machines to take account of the effect of ageing. A change in service application may also change the ageing rate. A value of up to 1,2 is proposed but a smaller value may be used, based on service experience or laboratory testing. The precise value of the ageing factor depends upon the service temperature and if this were significantly below the temperature class of the insulation, it may be unnecessary to apply it. The ageing factor has a minimum value of 1,0. For a service temperature near to the class temperature, the following formula may be used.

$$\text{Ageing factor} = 1,2 \left(1 - \frac{\text{Class temperature} - \text{Service temperature}}{\text{Class temperature}} \right)$$

A summary of the enhancement factors to be applied to the operating voltages is given in Table B.2.

Table B.2 – Summary of enhancement factors to be applied to the operating voltages

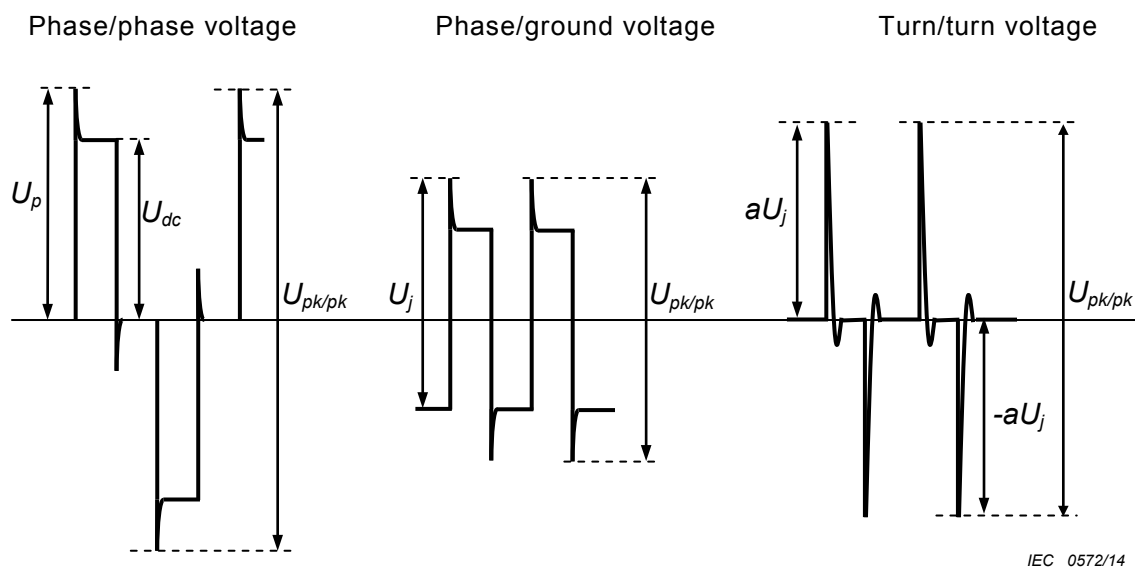
		Enhancement factors (EF)			
		PD Safety factor	Temperature	Ageing	Total EF
Qualification test	Phase/phase	1,25	1,0 – 1,3	1,0	1,25 – 1,63
	Phase/ground		1,0 – 1,1		1,25 – 1,38
	Turn/turn		1,0 – 1,3		1,25 – 1,63
Type test	Phase/phase	1,25	1,0 – 1,3	1,0 – 1,2	1,25 – 1,95
	Phase/ground		1,0 – 1,1		1,25 – 1,65
	Turn/turn		1,0 – 1,3		1,25 – 1,95
NOTE The total enhancement factor (Column 6) is the product of the individual factors in columns 3-5.					

B.4 Voltage for design qualification and type tests

For the design qualification and type testing of Type I insulation systems, the voltage to be used for PD tests is calculated using the maximum operating voltage for the chosen stress category as shown in Tables B.3 and B.4 for a 2-level converter. Note that the values for U_p and U_b relate to phase/phase voltages on the machine terminals.

The important phase/phase and phase/ground voltages appearing at the terminals of a rotating machine fed from a 2-level converter and the turn/turn voltages of coils of the rotating machine fed from the converter are shown schematically in Figure B.3. Note that $U_{pk/pk}$ is the main stressing voltage of the phase/phase, phase/ground, and turn/turn insulation because the effects of switching impulses are smaller and may be ignored. The jump voltage U_j of the phase/ground voltage is important for turn/turn insulation because it generates additional

turn/turn voltage. Since the jump voltage occurs at both the rising and falling edges of the phase/ground voltage, the turn/turn voltage has positive and negative peaks. The positive and negative peak voltages are proportional to the jump voltage. The fraction, a , of jump voltage stressing the turn/turn insulation in the worst case is shown in Figure 7.



NOTE This is a schematic representation and not scaled for phase/phase, phase/ground and turn/turn voltages. The letter "a" represents the fraction of voltage stressing the turn/turn insulation.

Figure B.3 – Comparison of phase/phase, phase/ground, and turn/turn voltages for a 2-level converter

In the qualification and type tests, the voltage applied to each insulation component by the test voltage source should comply with the specified rise time and amplitude. The most important parameter of the voltage is the peak/peak value, as described in 5.1. In the case of the phase/phase and phase/ground tests, the voltage amplitude on each insulation component is equal to the applied test voltage level. On the other hand, in the case of turn/turn insulation test for a winding, the voltage amplitude on the turn/turn insulation depends on the test voltage waveform as well.

Figure B.4 shows impulse test voltage waveforms and the levels for applying the same voltage on the turn/turn insulation at the time when the rotating machine is fed by converter. In the case of the unipolar rectangular impulse test voltage (a), the impulse rise time is $0,3 \mu\text{s}$ at both the leading and falling edges. The time between rising and falling edges is relatively short. The stressing of the turn/turn insulation is dependent on the derivative of the voltage waveshape and so both the rising and falling edges contribute to the turn/turn voltage. If the conventional impulse test voltage (b and c) is used in which the fall time is much longer than the rise time, say $10 \mu\text{s}$, only the leading edge contributes to the turn/turn voltage. Therefore, the peak/peak test voltage from a conventional impulse voltage is required to be double that of a rectangular impulse voltage.

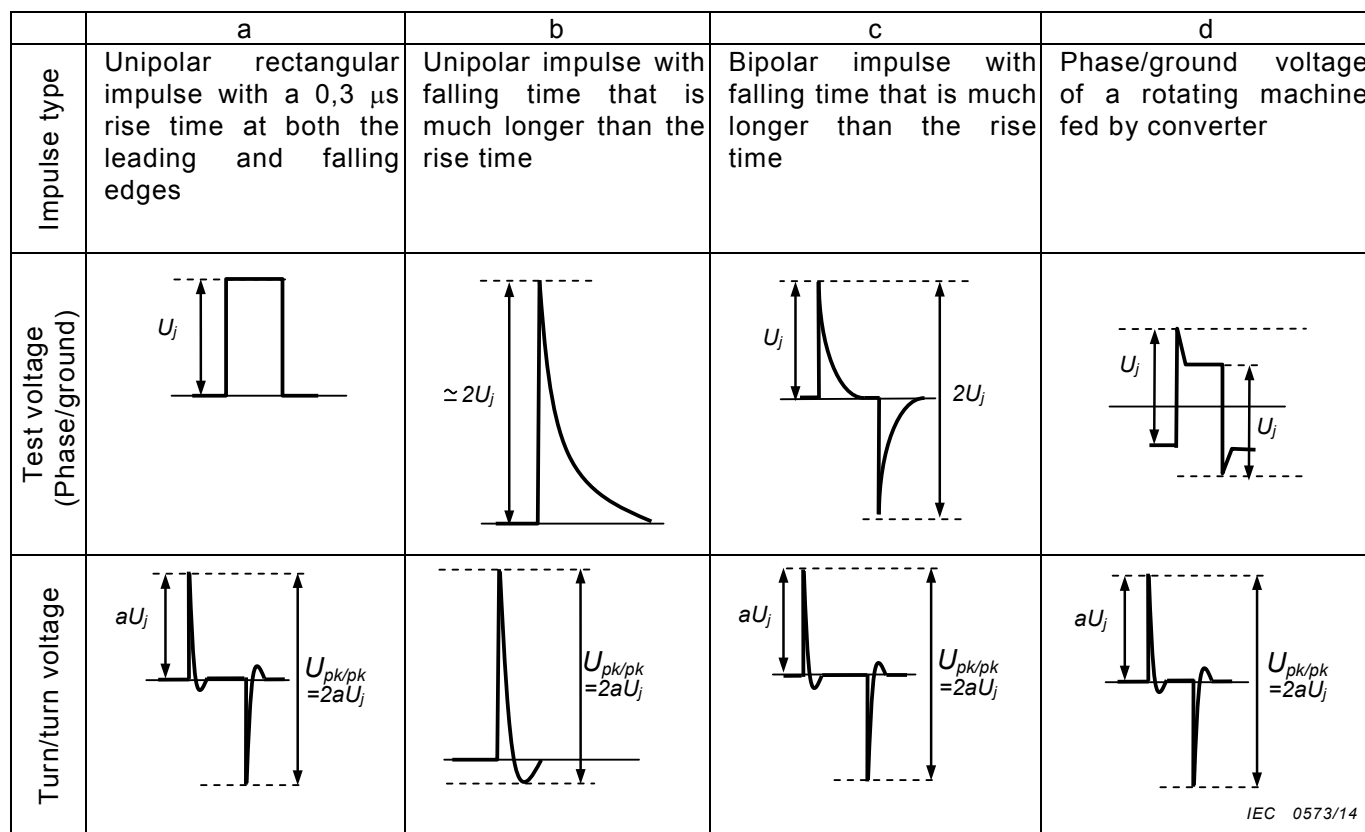


Figure B.4 – Impulse test voltage waveforms and the levels for applying the same peak/peak voltage of $2aU_j$ on the turn/turn insulation (schematic representation)

Examples of maximum peak/peak operating voltages are shown in Tables B.3 and B.4. The test voltages to be used are obtained by multiplying these values by the relevant enhancement factor obtained from Table B.2. Columns 3 and 4 are for the phase/phase and phase/ground insulation.

Table B.3 – Maximum peak/peak operating voltages related to U_{dc} for a 2-level converter according to the stress categories of Table 4

Overshoot factor U_p/U_{dc}	Overshoot U_b/U_{dc}	Maximum peak/peak operating voltages in units of U_{dc}	
		Phase to phase (Formula 1)	Phase to ground (Formula 2)
1,1	0,1	2,2	1,5
1,5	0,5	3,0	2,1
2,0	1,0	4,0	2,8
2,5	1,5	5,0	3,5

Examples of how to calculate the test levels for the turn/turn insulation are given in Clause B.6. They are related, as described above, to two different forms of impulse generator.

B.5 Examples of maximum peak/peak operating voltages

The phase/phase and phase/ground operating voltages may be calculated from the formulae given in Clause 4 and these lead to the values in Table B.3. Examples are given in Table B.4 for a 500 V r.m.s. rated winding fed from a 2-level converter. The maximum operating voltages are calculated on the basis that U_{dc} for such a system is 675 V (see Annex A).

As an example, for a moderate stress category, the maximum peak/peak operating voltages in Table B.4 are calculated using the following two formulae.

$$\text{Phase/phase maximum operating voltage} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times U_{\text{line}} \times 3,0 = 675 \times 3,0 = 2\,025 \text{ V (pk/pk)}$$

$$\text{Phase/ground maximum operating voltage} = 0,7 \times 2\,025 = 1\,418 \text{ V (pk/pk)}$$

An additional factor to be considered is that the line voltage in service may vary by $\pm 10\%$. To allow for this, the operating voltages (from which the test voltages are derived) are increased by a further 10 % so that in the above example the final operating voltages become 2 228 V and 1 560 V. This factor is incorporated into the values shown in Table B.4.

Table B.4 – Examples of maximum peak/peak operating voltage for a 500 V r.m.s. rated winding fed from a 2-level converter, according to the stress categories of Table 4.

Stress category	Examples of maximum peak/peak operating voltage	
	Phase/phase V	Phase/ground V
A (Benign)	1 634	1 144
B (Moderate)	2 228	1 560
C (Severe)	2 970	2 080
D (Extreme)	3 713	2 600

B.6 Calculation of test voltages

As an example, the peak/peak test voltages for phase/phase and phase/ground insulation in a 500 V rated rotating machine fed from a 2-level converter are equal to the maximum operating voltages shown in Table B.4 multiplied by the relevant total enhancement factor shown in Table B.2. This applies whether the test voltage is sinewave or impulse. It is generally expected that the total enhancement factor will be 1,25. The resulting voltages for the example shown in Table B.4 are given in Table B.5.

Table B.5 – Examples of maximum peak/peak test voltage for a 500 V rated winding fed from a 2-level converter, according to the stress categories of Table 4 and with EF 1,25

Stress category or impulse voltage insulation class (IVIC)	Examples of maximum peak/peak test voltage	
	Phase/phase $V_{pk/pk}$	Phase/ground $V_{pk/pk}$
A (Benign)	2 043	1 430
B (Moderate)	2 785	1 950
C (Severe)	3 713	2 600
D (Extreme)	4 641	3 250

The qualification and type test voltage levels for turn/turn insulation depend upon the waveform of the test generator and the type of winding. In the case of a complete winding, an impulse voltage is used for the turn/turn insulation test and it is applied between the phase and ground. Only the steep-fronted part of the impulse voltage is effective as the turn/turn insulation test voltage. There are two possible tests.

- a) For a unipolar impulse voltage having a risetime of 0,3 μs at both the leading and trailing edges, a level of 0,5 × phase/ground test voltage shall be used.
- b) For a unipolar impulse voltage, having a risetime of 0,3 μs at the leading edge but with a long fall time (> 10 μs), a level equal to the phase/ground test voltage shall be used.

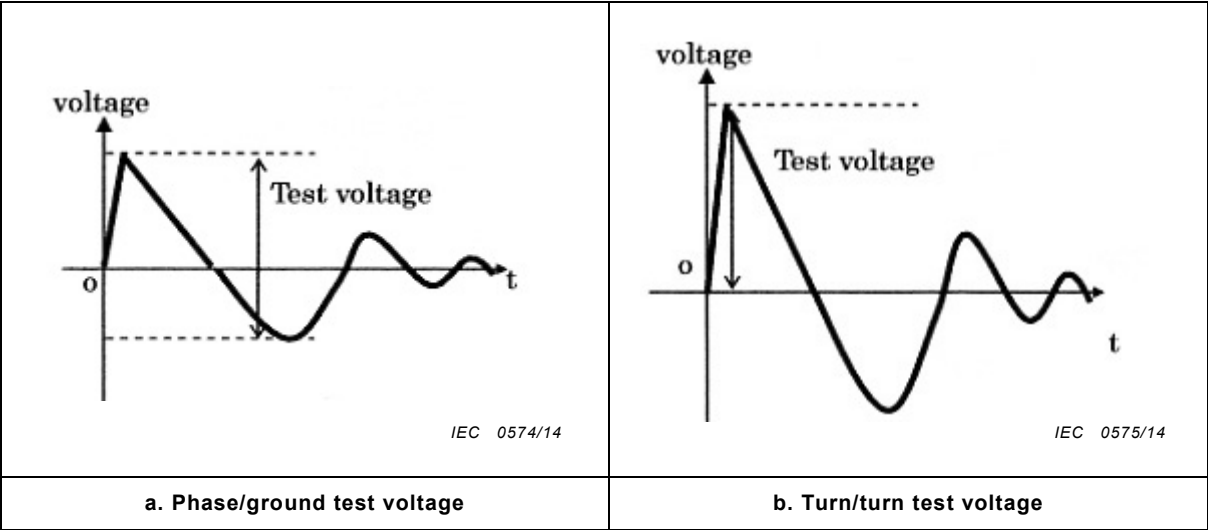


Figure B.5 – Test voltages for phase/ground and turn/turn impulse tests using a unipolar impulse

Guidance for testing the turn/turn insulation in the case of special windings or twisted pairs (see Table 5) is given in Table B.6. Three situations are specified. Where there is no information available, it shall be assumed that the full jump voltage for that coil may form across the insulation. If the impulse rise time of the voltage at the terminals of the machine is known, the worst case voltage distribution shown in Figure 7 should be assumed. In the case of a known voltage distribution, the actual values may be used. For twisted pairs and special windings, the test voltages to be used may be sinusoidal with the same peak/peak values. For other tests, an impulse voltage with a rise time of 0,3 ± 0,2 μs shall be used.

Table B.6 – Turn/turn PD test levels for special windings and twisted pairs

Available information	Test voltage
None	Jump voltage (see Formula 3) × EF
Impulse rise time	Jump voltage × ratio in Figure 7 for the appropriate impulse rise time × EF
Voltage distribution in windings and impulse rise time	Actual values × EF

Annex C (normative)

Derivation of allowable voltages in service

C.1 Impulse voltage insulation class (IVIC) of the machine

It is recognised that, where a rotating machine is to be fed from a converter, manufacturers and customers need to have an additional rating assigned to the machine insulation system in its documentation and on its rating plate which defines its limits of reliable performance under converter fed conditions (impulse voltage insulation class). The procedure is to use the letters IVIC X, where X is the impulse class letter in Table C.1 and represents the stress category for which the insulation system has been qualified according to Clause 10.

For example, if the machine has been rated for 500 V power frequency (rated voltage) and its insulation system is qualified for moderate impulse stress category, the rating plate will show $U_N = 500$ V and IVIC B. This permits users of a converter fed machine to check on site, by a simple measurement of the voltages in service, if the machine is being operated reliably within its qualified limits. The turn/turn-insulation voltage stress cannot be measured in service.

The maximum allowable voltages assigned to the impulse voltage insulation classes in Table C.1 have been calculated using formulae 1 and 2 in Clause 4 together with the stress category overshoot factors in Table 4. They are given in units of U_N (i.e. the voltages in Table B.5 divided by 500) in order to have them independent from various rated machine voltages. While these voltage limits have been derived from possible operating voltages in service they pose arbitrary classes in nature, being substantiated by the qualification process described in this standard.

**Table C.1 – Maximum allowable operating voltage
at the machine terminals in units of U_N**

Impulse insulation class (A-D)	Maximum allowable peak/peak operating voltages in units of U_N	
	Phase/phase	Phase/ground
A (Benign)	3,3	2,3
B (Moderate)	4,5	3,1
C (Severe)	5,9	4,2
D (Extreme)	7,4	5,2

C.2 Impulse voltage insulation class assigned in special designs

A manufacturer may wish to design and qualify the phase/phase and phase-ground insulation systems of a rotating machine to a combination of impulse voltage insulation classes not given in Table C.1. In this case, the test voltages are determined according to the procedures described in this standard and the documentation and rating plate are marked as follows. The phase/phase and phase/ground insulation systems can each be assigned a separate impulse voltage insulation class. A different impulse voltage insulation class may be assigned to the turn/turn insulation but only when qualified using parallel conductors (see 10.4.5). Here the maximum allowable turn/turn voltages for the classes A-D are defined according to Figure 7 to be 70 % of the related phase/ground voltage of the same class. For example, if the phase/phase, phase/ground and turn/turn insulation systems have been qualified to stress categories C, D and C respectively, the rating plate is marked IVIC C/D/C.

If these class values for the maximum allowable voltage are not appropriate for a special purpose machine design or if the manufacturer wishes to design and qualify the insulation systems using a different rise time to 0,3 μs , the machine may be labelled IVIC S. The rise time used and the voltage values in terms of U_N shall be given as additional information within the product documentation.

Bibliography

- [1] Kaufhold, M., Börner, G. & Eberhardt, M., “Endurance of the winding insulation applying frequency converters”, 8th *International Symposium on High Voltage Engineering*, Yokohama, Japan, 1993, paper 64.02
 - [2] Schemmel, F., Bauer, K.. & Kaufhold, M., “Reliability and statistical lifetime prognosis of Motor Winding Insulation in Low Voltage Power Drive Systems”, *IEEE Electrical Insulation Magazine* 2009, Vo. 25, No. 4, pp. 6-13
 - [3] Kaufhold, M, Asinger, H, Berth, M, Speck, J & Eberhardt, M., “Electrical stress and failure mechanism of the winding insulation in PWM-Inverter-fed low voltage induction motors”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 2, No.2, April 2000, pp. 396-402
 - [4] G.C. Stone, S. Campbell & S. Tetreault, " Converter Duty Motors: Which Motors are at Risk", *IEEE Industry Applications Magazine*, Sept 2000, pp. 17-22
 - [5] Cavallini, A, Montanari, G. C. & Tozzi, M, “Electrical aging of inverter-fed wire-wound induction motors: from quality control to end of life”, *ISEI*, 2010
 - [6] Stone, G.C. & Culbert, I., “Partial discharge testing of random wound stators during short rise time voltage surges”, *IEEE Electrical Insulation Conference*, Montreal 2009
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
INTRODUCTION.....	47
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives	49
3 Termes et définitions	50
4 Tensions aux bornes de la machine provenant du fonctionnement d'un convertisseur.....	53
5 Contraintes électriques dans le système d'isolation des enroulements de machine.....	57
5.1 Généralités	57
5.2 Tensions exerçant une contrainte sur l'isolation entre phases	58
5.3 Tensions exerçant une contrainte sur l'isolation phase-terre	58
5.4 Tensions exerçant une contrainte sur l'isolation des spires et des torons	58
5.5 Mécanismes de dégradation de l'isolation	59
6 Types d'isolation des machines	60
7 Catégories de contraintes pour les systèmes d'isolation de Type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseur.....	60
8 Essais de qualification de conception et de type pour les systèmes d'isolation de Type I.....	62
8.1 Généralités	62
8.2 Essai de qualification de la conception.....	62
8.3 Essai de type	63
9 Equipement d'essai	63
9.1 Mesure de la décharge partielle à la fréquence industrielle	63
9.2 Mesure de la décharge partielle sous impulsions de tension	63
9.3 Générateurs d'impulsions de tension.....	63
9.4 Sensibilité.....	64
9.5 Essais de décharges partielles.....	64
9.5.1 Tension à fréquence industrielle	64
9.5.2 Excitation de choc	64
10 Qualification de la conception pour des systèmes d'isolation de Type I.....	64
10.1 Généralités	64
10.2 Marche à suivre	65
10.2.1 Généralités	65
10.2.2 Paires torsadées ou dispositif équivalent	65
10.2.3 Motorette (à fils jetés) ou formette (préformée)	65
10.2.4 Enroulements complets	65
10.3 Préparation des objets en essai	66
10.3.1 Généralités	66
10.3.2 Échantillons d'isolation entre spires	66
10.3.3 Échantillons d'essai de motorette / formette ou enroulements complets	66
10.4 Essais de qualification de la conception	67
10.4.1 Généralités	67
10.4.2 Essais de prédiagnostic.....	67
10.4.3 Essais de diagnostic.....	67
10.4.4 Cycle de vieillissement	67
10.4.5 Essais de décharges partielles	67

10.5	Critère de réussite pour l'essai de qualification de la conception.....	68
11	Procédure d'essai de type pour des systèmes d'isolation de Type I.....	68
11.1	Généralités	68
11.2	Essais de décharges partielles à fréquence industrielle	69
11.3	Essais de DP de choc	69
12	Essais individuels de série	70
13	Analyse, compte-rendu et classification	70
Annexe A (informative) Déduction des tensions en service possibles aux bornes pour une machine alimentée par convertisseur		71
A.1	Calcul de la tension de bus à courant continu	71
A.2	Calcul des tensions maximales de crête pour un convertisseur à deux niveaux	73
Annexe B (normative) Déduction des tensions d'essai pour les systèmes d'isolation de Type I		74
B.1	Catégories de contraintes	74
B.2	Exigences concernant la tension de choc appliquée.....	74
B.3	Facteurs d'augmentation pour les essais de DP	75
B.4	Tension pour les essais de qualification de la conception et de type	76
B.5	Exemples de tensions de fonctionnement entre crêtes maximales	79
B.6	Calcul des tensions d'essai.....	80
Annexe C (normative) Déduction des tensions admissibles en service		82
C.1	Classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) de la machine	82
C.2	Classe d'isolation de la tension de choc attribuée dans des conceptions spéciales	82
Bibliographie.....		84
Figure 1 – Paramètres de la forme d'onde de l'impulsion de tension		53
Figure 2 – Tension entre phases à cinq paliers aux bornes d'une machine alimentée par un convertisseur à trois niveaux.....		55
Figure 3 – Saut de tension (U_j) aux bornes de la machine associée à un mécanisme d'entraînement convertisseur		55
Figure 4 – Augmentation de la tension aux bornes d'un moteur, due à la réflexion en fonction de la longueur du câble pour différents temps de montée de l'impulsion		57
Figure 5 – Exemple de conception à fils jetés		58
Figure 6 – Exemple de conception préformée		58
Figure 7 – Tension exerçant une contrainte sur l'isolation entre spires dans différents stators à enroulements à fils jetés en fonction du temps de montée de l'impulsion, dans le cas le plus défavorable		59
Figure A.1 – Schéma des circuits pour un système machine-convertisseur		71
Figure B.1 – Zone interdite (en grisé) pour des essais de choc		75
Figure B.2 – Exemples de formes d'onde d'essai		75
Figure B.3 – Comparaison entre tensions entre phases, phase-terre et entre spires pour un convertisseur à deux niveaux		77
Figure B.4 – Formes d'onde de la tension d'essai de choc et niveaux permettant d'appliquer la même tension entre crêtes de $2aU_j$ à l'isolation entre spires (représentation schématique).....		78
Figure B.5 – Tensions d'essai pour des essais de choc phase-terre et entre spires en utilisant une impulsion unipolaire		81

Tableau 1 – Plages habituelles des caractéristiques des tensions aux bornes des machines alimentées par convertisseur.....	54
Tableau 2 – Définition des symboles.....	54
Tableau 3 – Effet des caractéristiques de la tension aux bornes de la machine sur les composants des systèmes d'isolation de Type I.....	61
Tableau 4 – Catégories de contraintes pour des systèmes d'isolation de Type I liés à un convertisseur à deux niveaux.....	61
Tableau 5 – Formes d'onde de tension admissibles lors des essais sur des composants de système.....	66
Tableau A.1 – Exemples de tensions maximales de crête	73
Tableau B.1 – Résumé des catégories de contraintes	74
Tableau B.2 – Résumé des facteurs d'augmentation à appliquer aux tensions de fonctionnement	76
Tableau B.3 – Tensions de fonctionnement entre crêtes maximales liées à U_{dc} pour un convertisseur à deux niveaux selon les catégories de contraintes du Tableau 4.....	79
Tableau B.4 – Exemples de tension de fonctionnement entre crêtes maximale pour un enroulement assigné de 500 V efficaces, alimenté par un convertisseur à deux niveaux, selon les catégories de contraintes données au Tableau 4.....	79
Tableau B.5 – Exemples de tension d'essai entre crêtes maximale pour un enroulement assigné de 500 V, alimenté par un convertisseur à deux niveaux, selon les catégories de contrainte données au Tableau 4 et avec un facteur EF de 1,25.....	80
Tableau B.6 – Niveaux d'essai de DP entre spires pour des enroulements spéciaux et des paires torsadées.....	81
Tableau C.1 – Tension de fonctionnement maximale admissible aux bornes de la machine en unités de U_N	82

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-41: Systèmes d'isolation électrique sans décharge partielle (Type I) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par des convertisseurs de tension – Essais de qualification et de contrôle qualité

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60034-18-41 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

La CEI 60034-18-41 annule et remplace la CEI/TS 60034-18-41 (2006).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1728/FDIS	2/1738/RVD

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

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

NOTE On peut trouver un tableau des renvois de toutes les publications TC 2 de la CEI dans le tableau de bord TC 2 de la CEI sur le site web de la CEI.

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

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

INTRODUCTION

L'approbation des systèmes d'isolation électrique à utiliser dans des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension est présentée dans deux documents de la CEI. Ceux-ci distinguent les systèmes qui ne sont pas supposés être soumis à une activité de décharges partielles dans les conditions spécifiées pendant la durée de leur service (Type I) et ceux qui sont supposés résister à une activité de décharges partielles dans une partie de leur système d'isolation pendant la durée de leur service (Type II). Pour les deux systèmes d'isolation, Type I et Type II, l'intégrateur du système d'entraînement (chargé de coordonner le rendement électrique de tout le système d'entraînement) doit informer le constructeur de la machine de la tension à laquelle les bornes de la machine sont soumises pendant le fonctionnement. Le constructeur de la machine décide ensuite quelle est la sévérité appropriée des essais pour qualifier le système d'isolation. La sévérité dépend du temps de montée de l'impulsion, de la tension crête à crête et, pour les systèmes de Type II, de la fréquence de répétition d'impulsion. Après que le système machine-convertisseur a été installé, il est recommandé que l'intégrateur du système d'entraînement mesure les tensions entre phases et phase-terre entre les bornes de la machine et la terre afin d'en vérifier la conformité.

CEI 60034-18-41

La présente norme traite des systèmes de Type I. Ils sont généralement utilisés dans des machines électriques tournantes dont la tension assignée est 700 V efficaces ou moins et qui ont souvent des enroulements à fils jetés. Les procédures décrites ici concernent:

- La qualification du système d'isolation.
- Les essais de type et individuels de série des enroulements complets dans des machines de service.

Avant de réaliser un essai, le constructeur de la machine doit décider à quel niveau de sévérité le système est tenu de résister. La sévérité dépend de l'intensité de la surtension et de la vitesse de montée de l'impulsion aux bornes de la machine. Le concepteur de la machine fait ensuite un choix à partir d'un tableau dans lequel la plage de la surtension escomptée est divisée en bandes. L'essai est réalisé à la valeur extrême de chaque bande. Une valeur par défaut de 0,3 μ s est attribuée au temps de montée de l'impulsion. D'autres valeurs pour le temps de montée de l'impulsion ou pour la surtension sont utilisées dans des cas particuliers.

Dans les essais de qualification, le système d'isolation est utilisé pour élaborer différents objets d'essai représentatifs. Ils sont soumis à la série d'essais décrits dans la CEI 60034-18-21 ou la CEI 60034-18-31, en ajoutant un essai de tension à haute fréquence et un essai de décharges partielles. Pour ce dernier, il peut être nécessaire d'utiliser un équipement d'essai d'impulsion comme le décrit la CEI/TS 61934. Si à la fin de la série d'essais l'objet en essai est exempt de décharges partielles dans les conditions d'essai spécifiées, le système d'isolation est qualifié pour la bande de sévérité qui a été choisie.

Les essais facultatifs de type et individuels de série sont réalisés sur des enroulements complets pour prouver qu'ils sont exempts de décharges partielles dans des conditions de tension à ondes sinusoïdales ou de tension de choc (le cas échéant) pour la bande de sévérité choisie par le constructeur. Une classe d'isolation de la tension de choc est ensuite assignée à la machine. Une marche à suivre est décrite pour les cas spéciaux.

CEI/TS 60034-18-42

Cette spécification technique décrit les essais destinés à qualifier et à accepter des systèmes d'isolation électrique pour des machines électriques tournantes de Type II. Ces systèmes d'isolation sont en général utilisés dans des machines tournantes, ils ont souvent des bobines préformées dont la tension assignée est la plupart du temps supérieure à 700 V efficaces. La procédure de qualification est tout à fait différente de celle utilisée pour les systèmes

d'isolation de Type I, elle implique un vieillissement destructif des objets d'essai isolés, dans des conditions accélérées. Le constructeur de la machine tournante a besoin, pour le système d'isolation, d'une courbe de vie qui puisse être interprétée afin d'estimer la durée de vie dans des conditions de fonctionnement piloté par convertisseur. Une grande importance est accordée à la qualification de tous les systèmes de répartition de contrainte qui sont utilisés, il convient de réaliser les essais dans des conditions d'impulsions répétées. Le système d'isolation est qualifié pour l'utilisation si une durée de vie acceptable dans les conditions appropriées de vieillissement peut être mise en évidence. Les essais d'acceptation sont réalisés sur des bobines qui sont fabriquées à l'aide de ce système d'isolation et soumises à un essai d'endurance sous tension.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-41: Systèmes d'isolation électrique sans décharge partielle (Type I) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par des convertisseurs de tension – Essais de qualification et de contrôle qualité

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 définit des critères pour évaluer le système d'isolation dans des enroulements de stator / de rotor liés à des entraînements à modulation de largeur d'impulsion (PWM) due à la tension. Elle s'applique à des enroulements de stator / de rotor dans des machines à CA monophasés ou polyphasés comportant des systèmes d'isolation pour le fonctionnement du convertisseur.

Elle décrit les essais de qualification et les essais de contrôle qualité (essais de type et individuels de série) sur des échantillons représentatifs ou sur des machines finies pour vérifier qu'ils sont en mesure de fonctionner avec des convertisseurs de source de tension.

Cette norme ne s'applique pas:

- aux machines tournantes seulement démarrées par des convertisseurs;
- aux machines électriques tournantes dont la tension assignée est ≤ 300 V efficaces;
- à des enroulements de rotor dans des machines électriques tournantes qui fonctionnent à ≤ 200 V (crête).

2 Références normatives

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

CEI 60034-18-1:2010, *Machines électriques tournantes – Partie 18-1: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Principes directeurs généraux*

CEI 60034-18-21, *Machines électriques tournantes – Partie 18-21: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification*

CEI 60034-18-31, *Machines électriques tournantes – Partie 18-31: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes*

CEI/TS 60034-18-42, *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

¹ Cette Spécification Technique est en train d'être transformée en Norme internationale.

CEI/TS 60034-25:2007, *Rotating electrical machines – Part 25: Guidance for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply* (disponible en anglais seulement)

CEI/TS 60034-27, *Rotating electrical machines – Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines* (disponible en anglais seulement)

CEI 60172, *Méthode d'essai pour la détermination de l'indice de température des fils de bobinage émaillés*

CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

CEI/TS 61800-8, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface* (disponible en anglais seulement)

CEI/TS 61934, *Electrical insulating materials and systems – Electrical measurement of partial discharges (PD) under short rise time and repetitive voltage impulses* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

décharge partielle

DP

décharge électrique qui court-circuite partiellement le mur isolant entre conducteurs

Note 1 à l'article: Elle peut se produire à l'intérieur de l'isolant ou être adjacente à un conducteur.

3.2

seuil d'apparition des décharges partielles

PDIV

tension seuil à partir de laquelle les décharges partielles sont initiées dans le dispositif d'essai choisi lorsque la tension appliquée à l'objet en essai est augmentée progressivement à partir d'un niveau pour lequel aucune décharge n'est détectée

Note 1 à l'article: Sous tension alternative sinusoïdale, le PDIV est défini comme la valeur efficace de la tension. Sous tension impulsionnelle, le PDIV est défini comme la tension crête à crête.

Note 2 à l'article: L'abréviation "PDIV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "partial discharge inception voltage".

3.3

seuil d'extinction des décharges partielles

PDEV

tension seuil à partir de laquelle les décharges partielles s'éteignent dans le dispositif d'essai choisi lorsque la tension appliquée à l'objet en essai est diminuée progressivement à partir d'un niveau pour lequel des décharges sont détectées

Note 1 à l'article: Sous tension alternative sinusoïdale, le PDEV est défini comme la valeur efficace de la tension. Sous tension impulsionnelle, le PDEV est défini comme la tension crête à crête.

Note 2 à l'article: L'abréviation "PDEV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "partial discharge extinction voltage".

3.4**tension (de choc) de crête** U_p

valeur numérique maximale atteinte par la tension lors d'une impulsion de tension unipolaire (par exemple U_p sur la Figure 1)

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

Note 2 à l'article: L'Article 4 donne la définition de la tension crête à crête.

3.5**amplitude de tension de choc permanente** U_a

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

3.6**surtension** U_b

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

3.7**tension de choc crête à crête** $U'_{pk/pk}$

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

3.8**tension crête à crête** $U_{pk/pk}$

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

3.9**seuil d'apparition de décharges répétitives****RPDIV**

tension minimale de choc crête à crête pour laquelle il y a plus de cinq impulsions de DP sur dix impulsions de tension de même polarité

Note 1 à l'article: Il s'agit d'une valeur moyenne pour la durée spécifiée de l'essai et un dispositif d'essai où on augmente progressivement la tension appliquée à l'objet en essai à partir d'une valeur à laquelle on ne peut pas détecter de décharges partielles.

3.10**impulsion unipolaire**

impulsion de tension dont la polarité est soit positive soit négative

Note 1 à l'article: Le terme impulsion est utilisé pour décrire la tension transitoire appliquée aux bornes de l'objet en essai et le terme pulsation est utilisé pour décrire le signal électrique associé aux décharges partielles.

3.11**impulsion bipolaire**

impulsion de tension dont la polarité passe alternativement de positive à négative ou inversement

3.12**fréquence de répétition de tension de choc** f

inverse du temps moyen séparant deux impulsions successives de la même polarité, aussi bien unipolaires que bipolaires

3.13

temps de montée de l'impulsion

t_r

durée nécessaire à la tension pour passer de 10 % à 90 % de sa valeur finale (voir Figure 1)

3.14

système d'isolation électrique

structure isolante contenant un ou plusieurs matériaux électriquement isolants associés à des parties conductrices, employée dans un dispositif électrotechnique

3.15

formette

modèle d'essai spécial utilisé pour évaluer les systèmes d'isolation électrique destinés à des enroulements préformés

3.16

motorette

modèle d'essai spécial utilisé pour évaluer les systèmes d'isolation à enroulements à fils jetés

3.17

contrainte (électrique)

champ électrique en volts/mm

3.18

tension assignée

U_N

tension que le constructeur attribue à une condition de fonctionnement de fréquence industrielle spécifiée pour une machine; elle est indiquée sur sa plaque signalétique

3.19

classe d'isolation de la tension de choc

IVIC

tension de sécurité crête à crête que le constructeur attribue en fonction de la tension assignée pour une machine donnée entraînée par convertisseur; elle est indiquée dans sa documentation et sur sa plaque signalétique

Note 1 à l'article: L'abréviation "IVIC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "impulse voltage insulation class".

3.20

fréquence fondamentale

première fréquence du spectre, obtenu à partir d'une transformation de Fourier d'un signal temporel, à laquelle toutes les autres fréquences du spectre se réfèrent

Note 1 à l'article: Pour les besoins de la présente norme, la fréquence fondamentale de la tension aux bornes de la machine est identique à celle qui définit la vitesse de la machine alimentée par convertisseur.

3.21

durée de l'impulsion

largeur de l'impulsion

intervalle de temps entre le premier et le dernier instants auquel la valeur instantanée de l'impulsion atteint une valeur spécifiée de l'amplitude de l'impulsion ou un seuil spécifié

3.22

saut de tension

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)

3.23**tension de barre à courant continu** U_{dc}

tension du circuit intermédiaire du convertisseur de tension (circuit de couplage à courant continu)

Note 1 à l'article: Pour un convertisseur de tension à deux niveaux, U_{dc} est égale à U_a de la Figure 1.

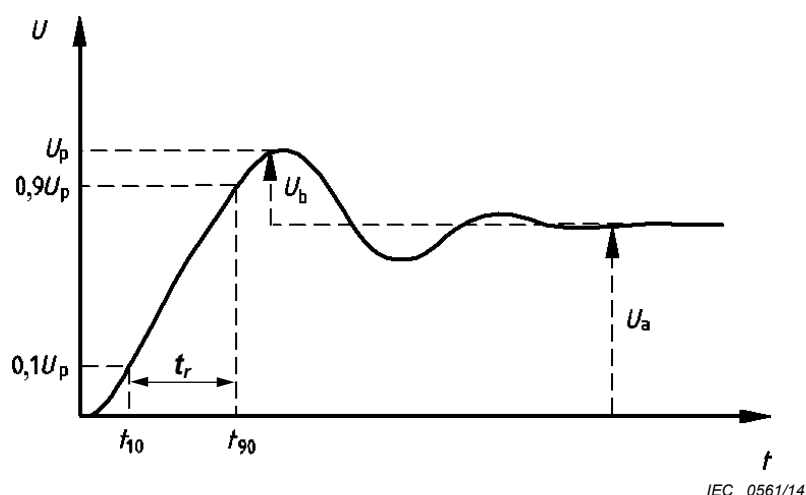
Note 2 à l'article: Pour un convertisseur multiniveau, U_{dc} est égale à $\frac{1}{2} U_{pk}/pk$ moins la surtension de la Figure 2.

3.24**facteur de dépassement**

proportion de la tension aux bornes de la machine et de la tension sur le convertisseur pour chaque niveau de convertisseur

3.25**entraînement électrique de puissance**

ensemble convertisseur de puissance et machine tournante, y compris le câble de raccordement le cas échéant

**Légende**

U tension

t temps

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

4 Tensions aux bornes de la machine provenant du fonctionnement d'un convertisseur

Dans des convertisseurs modernes, la durée de la montée de tension de sortie peut varier de $0,05 \mu s$ à $2,0 \mu s$, en fonction des caractéristiques de commutation de puissance des semi-conducteurs. La tension appliquée aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur peut être calculée à l'aide de la CEI/TS 61800-8, et elle dépend par ailleurs de plusieurs caractéristiques de l'entraînement électrique de puissance, à savoir:

- la tension de ligne de fonctionnement du convertisseur;
- l'architecture et le régime de commande du convertisseur;
- les filtres entre le convertisseur et la machine;
- la longueur et le type du câble qui les raccorde;
- la conception de l'enroulement de la machine;

f) la conception et la configuration de l'installation.

Pour appliquer la présente norme à la qualification et à l'essai du système d'isolation d'un enroulement, il est nécessaire de spécifier les paramètres nécessaires de la tension appliquée aux bornes de la machine (Article 7).

La grandeur et le temps de montée de la tension aux bornes de la machine dépendent du système de mise à la terre, de différents éléments de la conception du câble, de l'impédance transitoire de la machine et de la présence de filtres qui augmentent la durée du temps de montée de l'impulsion. Le Tableau 1 donne les plages habituelles des caractéristiques des impulsions du convertisseur aux bornes de la machine.

Tableau 1 – Plages habituelles des caractéristiques des tensions aux bornes des machines alimentées par convertisseur

Caractéristiques	Plage de valeurs (en fonction des caractéristiques assignées, des caractéristiques et des conditions de fonctionnement de l'entraînement)
Tension crête à crête	0,5 kV – 7 kV
Temps de montée de l'impulsion	0,05 μ s – 2,0 μ s
Fréquence de répétition de la tension de choc	100 Hz – 20 000 Hz
Durée de l'impulsion	10 μ s – 10 000 μ s
Forme	Rectangulaire
Polarité	Unipolaire ou bipolaire
Fréquence fondamentale	5 Hz – 1 000 Hz
Temps moyen entre les impulsions	$\geq 0,6 \mu$ s

Les symboles du Tableau 2 sont utilisés dans le cadre de la présente norme.

Tableau 2 – Définition des symboles

Symbole	Paramètre	Unités	Type d'alimentation
U_{line}	Tension (assignée) entre phases	V efficaces	Ligne
U_{phase}	Tension phase-neutre	V efficaces	Ligne
$U_{\text{max}} = \sqrt{2} U_{\text{phase}}$	Tension maximale phase-neutre	V	Ligne
$U_{\text{pk/pk}}$	Tension crête à crête	V	Convertisseur
U_{dc}	Tension de barre à courant continu	V	Convertisseur

Pour des convertisseurs à deux niveaux ou d'autres convertisseurs U, en fonction du temps de montée de l'impulsion de tension à la sortie du convertisseur et en fonction de la longueur du câble ainsi que de l'impédance de la machine, les impulsions produisent des surtensions aux bornes de la machine (typiquement de U_p jusqu'à $2U_{\text{dc}}$ entre phases). La surtension est due à des ondes réfléchies à l'interface entre le câble et les bornes de la machine ou du convertisseur à cause de la désadaptation d'impédances. Le phénomène est entièrement expliqué par la théorie de la ligne de transmission et de l'onde progressive.

La Figure 2 représente la tension qui apparaît aux bornes de la machine (pendant une période à la fréquence fondamentale) quand elle est alimentée par un convertisseur à 3 niveaux.

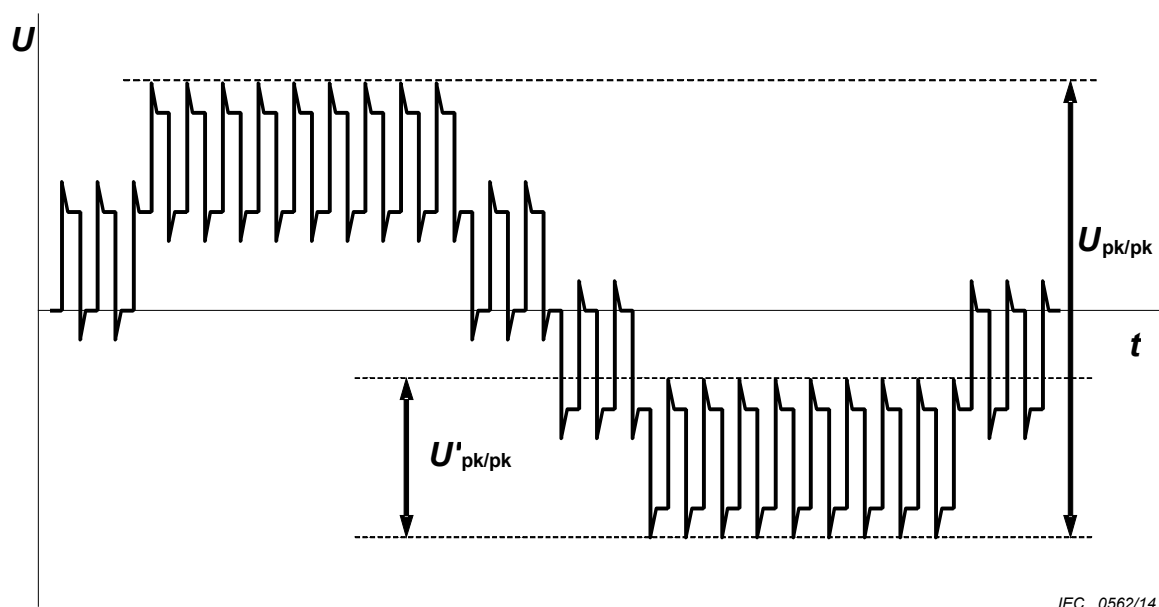


Figure 2 – Tension entre phases à cinq paliers aux bornes d'une machine alimentée par un convertisseur à trois niveaux

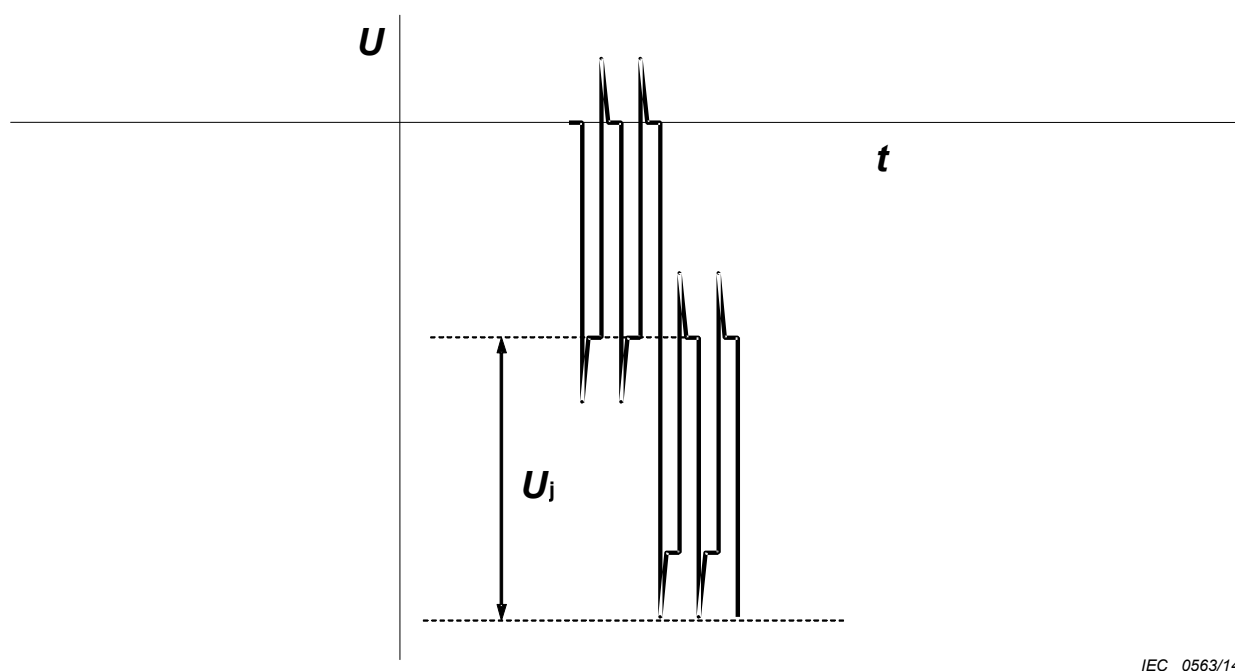


Figure 3 – Saut de tension (U_j) aux bornes de la machine associée à un mécanisme d'entraînement convertisseur

La Figure 3 représente la variation maximale de tension, U_j , à la fréquence d'impulsion. Ce paramètre est important pour définir l'augmentation de tension qui peut se produire dans la première ou la dernière bobine de l'enroulement. Une double transition de saut est possible mais l'intégrateur du système d'entraînement est chargé d'assurer que le logiciel commandant le mécanisme d'entraînement convertisseur empêche que cela se produise.

Pour un convertisseur à “n” niveaux, on peut estimer la tension entre phases de la manière suivante:

$$\text{Tension à une fréquence fondamentale entre crêtes} = 2(U_{dc} + U_b) \quad (1)$$

$$\text{Tension à une fréquence d'impulsion entre crêtes} = U_{dc}/(n-1) + 2U_b$$

On estime les valeurs phase-terre de la manière suivante:

$$\text{Tension à une fréquence fondamentale entre crêtes} = 0,7 \times 2(U_{dc} + U_b) \quad (2)$$

$$\text{Tension à une fréquence d'impulsion entre crêtes} = 0,7(U_{dc}/(n-1) + 2U_b)$$

$$\text{Le saut de tension est donné par } 0,7(U_{dc}/(n-1) + U_b) \quad (3)$$

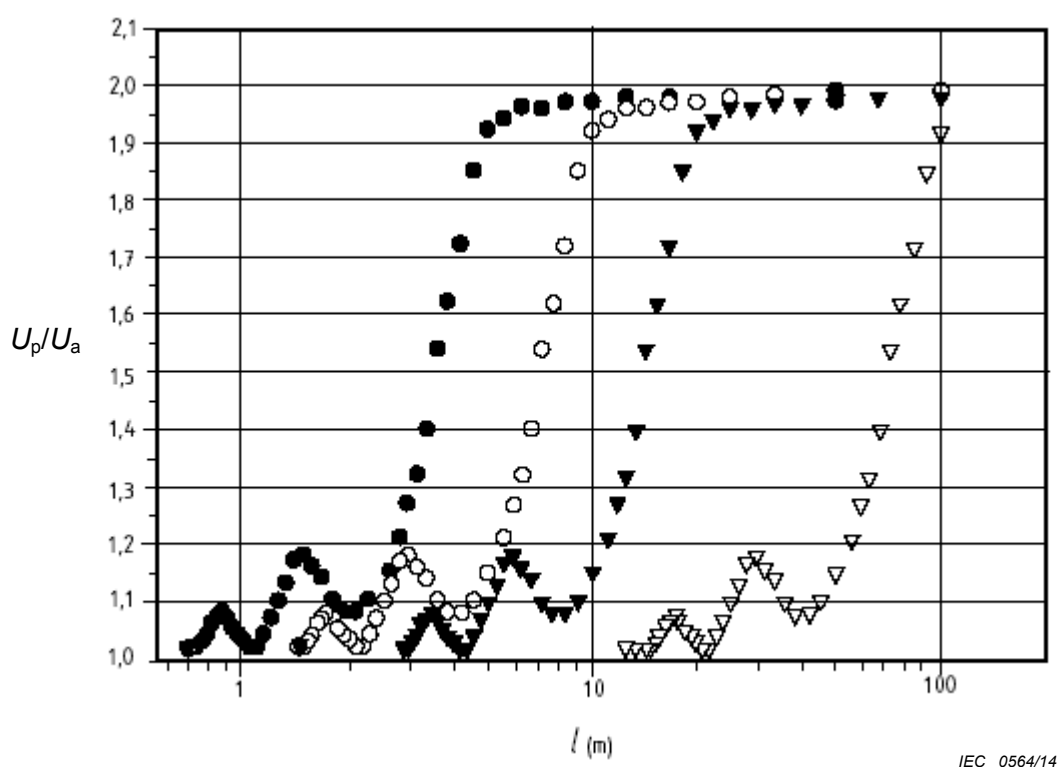
La Figure 7 donne la proportion du saut de tension qui apparaît dans la première spire.

Dans ces formules, la valeur U_b est la valeur donnée à la Figure 1 pour la tension entre phases aux bornes de la machine. Les valeurs des tensions phase-terre qui résultent de ces formules peuvent être en réalité supérieures ou inférieures, en fonction du système de mise à la terre, du régime de la commande du convertisseur et d'autres facteurs. On sait qu'une augmentation soudaine du niveau de tension à la terre de la machine peut se produire en fonction du point zéro de courant continu dans le convertisseur. La montée théorique est déterminée, quant à la capacité, pour être de 1/3, ce qui donne un effet résiduel d'environ 0,7. Ce serait le cas pour des systèmes simples dans lesquels seule la théorie de l'onde progressive détermine le facteur, c'est-à-dire les catégories de contrainte A, B et C (voir Article 7).

La Figure 4 donne des exemples de l'augmentation produite pour différents temps de montée et différentes longueurs de câble quand un moteur est entraîné par convertisseur. Dans ce cas, l'augmentation de la tension pour un temps de montée d'impulsion de 1,0 μ s est négligeable en dessous d'environ 15 m et ne dépasse 1,2 que lorsque le câble a une longueur supérieure à environ 50 m.

Des tensions supérieures à $2U_{dc}$ peuvent se produire aux bornes de la machine par une double réflexion de l'onde tension et par un algorithme de commutation du convertisseur qui ne permet pas d'intervalle minimal entre des impulsions successives. Il y a par exemple double réflexion quand une phase passe de $-U_{dc}$ à $+U_{dc}$ au même moment qu'une autre phase de $+U_{dc}$ à $-U_{dc}$. Il se produit alors une onde de tension $2U_{dc}$ qui parvient à la machine et dont l'amplitude peut donc augmenter quand elle est réfléchiée aux bornes de la machine. Si l'entraînement n'a pas de commande de durée minimale d'impulsion et si l'intervalle entre deux impulsions correspond à la constante de temps du câble entre le convertisseur et la machine, une surtension supérieure à $2U_{dc}$ peut se produire aux bornes de la machine. La réflexion peut être réduite ou empêchée en utilisant un filtre soit dans le convertisseur soit aux bornes de la machine, ou aux deux endroits.

En cas de défaut de mise à la terre sur une des phases d'un système dans lequel le point neutre en étoile n'est pas mis à la terre, le constructeur peut autoriser que la machine fonctionne plusieurs heures jusqu'à ce qu'une interruption appropriée puisse permettre des réparations. Dans ce cas, la contrainte de tension sur l'isolation spire-terre augmente dans les autres phases.



IEC 0564/14

Légende

● $t_r = 0,05 \mu s$ ○ $t_r = 0,1 \mu s$ ▼ $t_r = 0,2 \mu s$ ▽ $t_r = 1,0 \mu s$

l (m) longueur du câble

U_p/U_a proportion des tensions de crête aux bornes de la machine et du convertisseur

Figure 4 – Augmentation de la tension aux bornes d'un moteur, due à la réflexion en fonction de la longueur du câble pour différents temps de montée de l'impulsion

5 Contraintes électriques dans le système d'isolation des enroulements de machine

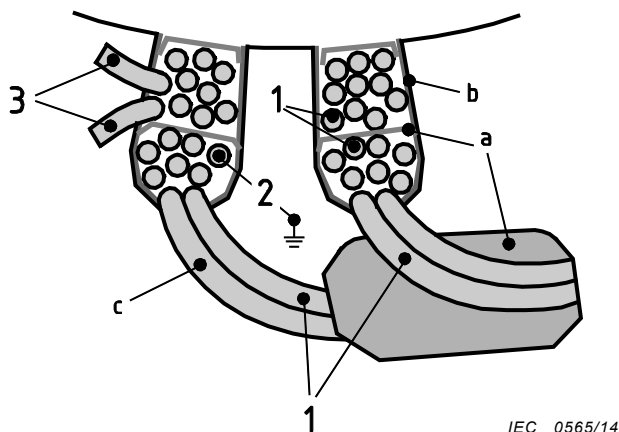
5.1 Généralités

Si un enroulement est soumis à des impulsions de tension dont le temps de montée est peu important mais l'amplitude significative, il en résulte des contraintes élevées de tension par exemple aux endroits suivants (Figures 5 et 6):

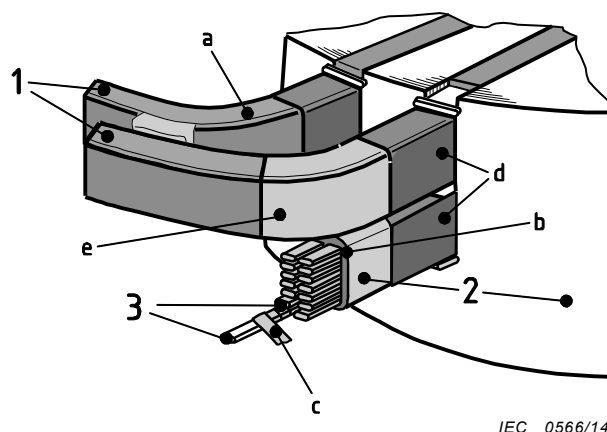
- entre des conducteurs de phases différentes,
- entre un conducteur et la terre,
- entre des spires voisines de la bobine terminale.

Comme il apparaît une charge d'espace et de surface à l'intérieur des composants isolants, la contrainte électrique n'est pas seulement définie par la tension instantanée elle-même, mais aussi par les tensions de crête auxquelles l'isolation a été soumise auparavant. L'expérience a généralement montré que, dans certaines limites applicables aux systèmes d'entraînement, le paramètre de contrainte est la tension crête à crête. C'est aussi pourquoi une tension

unipolaire produit la même contrainte qu'une tension bipolaire dont la tension crête à crête a la même valeur [1]².



IEC 0565/14



IEC 0566/14

Légende

- | | | | |
|---|---|---|---------------|
| a | isolation de phase / isolation en surplomb | 1 | entre phases |
| b | isolation de la paroi principale | 2 | phase à terre |
| c | isolation de spire | 3 | entre spires |
| d | protection en encoche contre les effluves | | |
| e | protection en surplomb contre les effluves (répartition de contraintes) | | |

Figure 5 – Exemple de conception à fils jetés

Figure 6 – Exemple de conception préformée

5.2 Tensions exerçant une contrainte sur l'isolation entre phases

La contrainte maximale de tension sur l'isolation entre phases est fonction de la conception de l'enroulement et des caractéristiques de la tension entre phases.

5.3 Tensions exerçant une contrainte sur l'isolation phase-terre

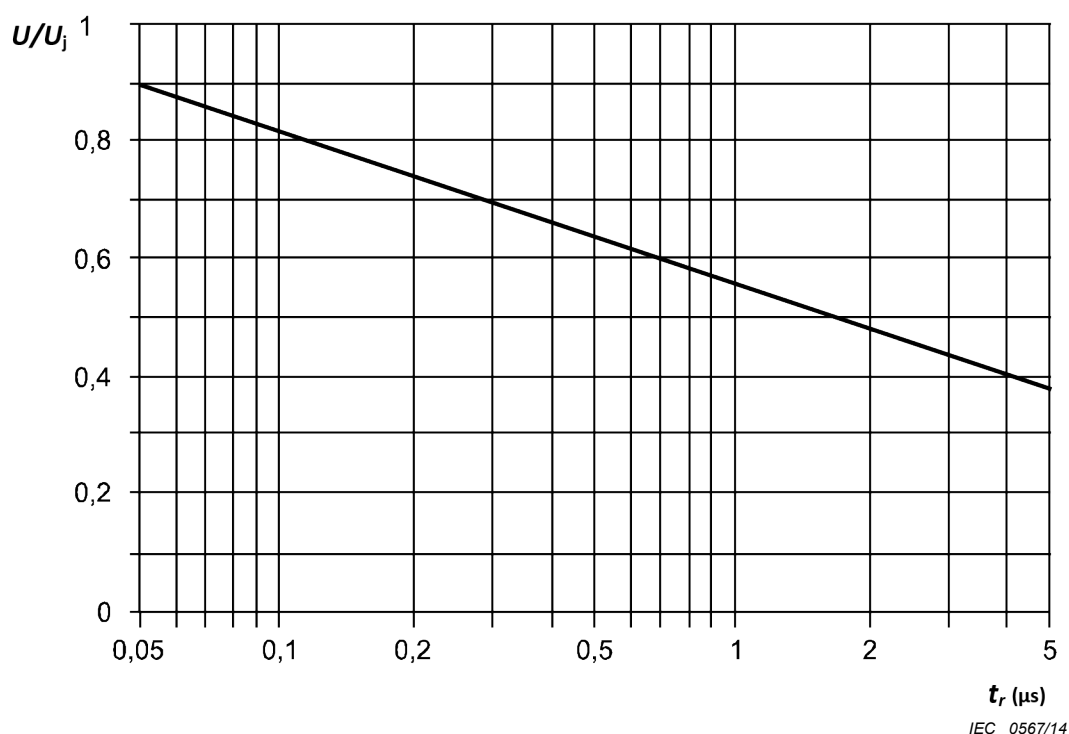
La contrainte maximale de tension sur l'isolation phase-terre est déterminée par la conception de l'enroulement et les caractéristiques de la tension phase-terre.

5.4 Tensions exerçant une contrainte sur l'isolation des spires et des torons

La contrainte électrique à l'intérieur de l'isolation de l'enroulement est déterminée par la valeur que prend le saut de la tension phase-terre et le temps de montée de l'impulsion de cette tension aux bornes de la machine. Pour des enroulements à fils jetés, la répartition de la tension transitoire dépend de la position relative de chaque spire dans les encoches. Quand les impulsions ont des temps de montée courts, la tension est inégalement répartie entre les spires, il y a alors des contraintes de haut niveau dans la ou les premières spires (selon la conception de l'enroulement) de la phase de l'enroulement individuel. En pratique, la première spire et la dernière spire peuvent se trouver l'une à côté de l'autre, auquel cas la

² Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

tension entre spires peut être presque égale à la chute de tension dans la bobine. La Figure 7 représente le cas le plus défavorable où la tension exerce une contrainte sur l'isolation entre spires dans plusieurs stators en fonction du temps de montée de l'impulsion. La tension représente alors une proportion du saut de tension phase-terre. Les données ont été obtenues en combinant les figures données aux Références [2], [3] et [4]. Si le constructeur connaît la répartition de la tension à l'intérieur des bobines en fonction du temps de montée pour une conception particulière de la machine tournante, on peut utiliser au lieu de la Figure 7 les données pour calculer la fraction du saut de tension qui exerce une contrainte sur l'isolation entre spires dans le cas le plus défavorable. C'est l'objet du Tableau B.6. Le saut de tension a lieu à la fois sur le front de montée et le front de descente de la tension phase-terre. La tension entre spires présente le même phénomène à chaque front, que la crête soit positive ou négative (voir Article B.4.).



Légende

U/U_j^1 Fraction du saut de tension exerçant une contrainte sur l'isolation entre spires

t_r Temps de montée de l'impulsion

NOTE 1,0 est le saut de tension de crête phase-terre aux bornes de la machine.

Figure 7 – Tension exerçant une contrainte sur l'isolation entre spires dans différents stators à enroulements à fils jetés en fonction du temps de montée de l'impulsion, dans le cas le plus défavorable

5.5 Mécanismes de dégradation de l'isolation

Dans un enroulement basse tension à fils jetés ou préformé, l'isolation du conducteur est peu épaisse et il y a souvent de l'air autour du fil. En outre, dans un enroulement à fils jetés, la première spire et la dernière spire d'une ou de plusieurs bobines peuvent être voisines l'une de l'autre. Quand la contrainte électrique est suffisante entre les spires, ou à la terre ou à une autre phase, l'air entre les fils ou vers la terre peut recevoir une décharge électrique (c'est-à-dire une étincelle) dans l'air. Comme l'isolation elle-même n'est pas endommagée, cette étincelle est appelée décharge partielle (DP). Les électrons et les ions que libère la décharge dans l'air bombardent l'isolation du fil, de la phase ou l'isolation à la masse. Dans des enroulements à fils jetés, l'isolation conventionnelle du fil est une mince pellicule organique. Il

peut arriver que cette pellicule soit érodée par la DP en provoquant un défaut d'isolation et un court-circuit de la bobine. Des piqûres ou des poudres blanches sur l'isolation du fil sont des signes typiques observables après un fonctionnement du mur isolant soumis à des décharges partielles. L'isolation à la terre des enroulements haute tension peut être attaquée par des DP mais le concepteur peut autoriser la présence de décharges partielles en incorporant des matériaux résistant à une détérioration par ces décharges partielles.

Un autre facteur qui peut avoir un effet sur la durée de vie de l'isolation est l'effet qu'ont des fréquences assez élevées sur la chaleur diélectrique, associées à la forme d'onde du convertisseur. Si les bobines comportent une protection en encoche contre les effluves ou une répartition de contraintes, les courants à haute fréquence qui circulent dans ce matériau et qui sont dus au convertisseur de tension peuvent provoquer une surchauffe et une détérioration. La fréquence de la répétition et la fréquence liée au temps de montée du bord d'attaque créent toutes deux une chaleur supplémentaire du fait des pertes diélectriques dans les matériaux isolants. Les zones les plus critiques sont l'isolation de la paroi principale, l'isolation entre spires et l'isolation entre phases.

6 Types d'isolation des machines

La CEI 60034-18-41 et la CEI 60034-18-42 définissent deux types d'isolation de l'enroulement. L'isolation d'un enroulement de Type I (Figure 5) n'est pas censée être soumise à l'activité de DP pendant sa durée de vie, à quelque endroit que ce soit de son isolation électrique. Comme l'isolation d'enroulement de Type II (Figure 6) est susceptible de devoir résister à la DP pendant sa durée de vie à un endroit ou à un autre de son isolation électrique, il convient par conséquent qu'elle comporte des matériaux qui résistent à une DP. Les machines dont la tension assignée est ≤ 700 V efficaces peuvent comporter des isolations d'enroulement de Type I ou de Type II. Au-delà de 700 V efficaces, l'isolation d'enroulement est habituellement de Type II. Les constructeurs attribuent typiquement une tension assignée à une machine selon la fréquence industrielle. Cela suppose que la tension de l'alimentation électrique est sinusoïdale de 50 Hz ou 60 Hz. Dans le cas de machines entraînées par des convertisseurs, la définition conventionnelle de la tension assignée n'est plus applicable au système d'isolation de l'enroulement, bien que le constructeur puisse toujours attribuer une tension assignée pour un fonctionnement à 50 Hz ou 60 Hz et la faire figurer sur la plaque signalétique de la machine. Pour résoudre ce problème, une nouvelle définition de classe d'isolation de la tension de choc est donnée. Il est nécessaire de faire figurer cette spécification supplémentaire dans la documentation et sur la plaque signalétique comme décrit à l'Annexe C. La classe d'isolation de Type I est déterminée par l'absence de décharges partielles pendant le fonctionnement ou lors des procédures d'essai que décrit la présente norme.

7 Catégories de contraintes pour les systèmes d'isolation de Type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseur

Pour que les entraînements électriques de puissance soient suffisamment fiables, il est nécessaire de coordonner la contrainte électrique et la résistance de leurs systèmes d'isolation des enroulements de la machine. Soit:

- le fournisseur du système assume la responsabilité de cette coordination en fournissant un entraînement électrique de puissance complet et en assurant ainsi la compatibilité des composants, soit
- l'intégrateur du système d'entraînement doit indiquer au concepteur de la machine les tensions auxquelles sont soumises les bornes de la machine pour s'assurer qu'elle est adaptée sous ce rapport, soit
- le constructeur de la machine doit indiquer les tensions auxquelles il est prévu que le système d'isolation de l'enroulement fonctionne de manière fiable dans les conditions spécifiques du convertisseur.

Outre les caractéristiques traditionnelles comme la tension assignée, la classe thermique, l'humidité, etc., il convient de faire figurer ces informations dans les spécifications d'achat ou dans la documentation fournie par le constructeur lors de l'offre. Du moment que toutes les informations indispensables sur la machine, le convertisseur et les câbles de raccordement sont disponibles, les caractéristiques de la tension observée aux bornes de la machine peuvent être calculées en utilisant la méthodologie que décrit la CEI/TS 61800-8. Il faut en particulier définir les valeurs limites pour les paramètres suivants de la tension aux bornes de la machine. La fréquence de répétition n'est pas considérée comme un paramètre critique lors de la qualification des systèmes d'isolation de Type I.

- a) Tension de choc de crête (de 0 à la crête) qui est prévue aux bornes de la machine (U_p pour un convertisseur à deux niveaux comme indiqué à la Figure 1).
- b) Temps de montée, t_r , des impulsions.

Le Tableau 3 donne une indication concernant le niveau de l'effet que chacune de ces caractéristiques de la forme d'onde du convertisseur a sur les composants d'un système d'isolation de Type I. Noter que l'effet critique sur l'isolation entre spires est une combinaison du temps de montée de l'impulsion et du saut de la tension de choc, ΔV .

Tableau 3 – Effet des caractéristiques de la tension aux bornes de la machine sur les composants des systèmes d'isolation de Type I

Composant d'isolation	Fréquence fondamentale	Fréquence de répétition de la tension de choc	Tension de choc entre crêtes (Fréquence fondamentale)	Tension de choc entre crêtes (Fréquence de répétition de la tension de choc)	Saut de tension	Temps de montée de l'impulsion
Isolation spire à spire	○	○	○	○	●	●
Isolation de la paroi principale	○	○	●	●	○	○
Isolation entre phases	○	○	●	●	○	○
NOTE ○ Peu significatif ● Assez significatif						

L'expérience a montré qu'il n'y a que quelques combinaisons de surtension et de temps de montée de l'impulsion qui sont nécessaires en pratique pour satisfaire à la plupart des applications. Il existe quatre catégories de contraintes de surtension (Tableau 4). Une valeur par défaut de 0,3 μ s est spécifiée pour le temps de montée. Alors que ces catégories ont une nature en partie arbitraire, elles permettent de qualifier les systèmes d'isolation pour un fonctionnement du convertisseur en classes de tension, ce qui est comparable à la qualification des systèmes d'isolation pour des classes de température conformément à la CEI 60034-18-21 et à la CEI 60034-18-31. Quand on ne connaît pas l'application de la machine, on recommande une catégorie de contrainte C. L'Article C.2 décrit le traitement des cas spéciaux.

Tableau 4 – Catégories de contraintes pour des systèmes d'isolation de Type I liés à un convertisseur à deux niveaux

Catégorie de contrainte	Facteur de dépassement (OF) U_p/U_a	Temps de montée de l'impulsion t_r μ s
A – Faible	OF $\leq 1,1$	0,3
B – Modérée	$1,1 < \text{OF} \leq 1,5$	

C – Sévère	$1,5 < OF \leq 2,0$	
D – Extrême	$2,0 < OF \leq 2,5$	

Le niveau faible du facteur de dépassement qui figure au Tableau 4 concerne le cas d'un convertisseur raccordé directement à la machine ou raccordé par l'intermédiaire d'un câble court. Il est reconnu cependant qu'en pratique une valeur théorique de 1,0 pour U_p/U_{dc} ne peut généralement pas être atteinte puisqu'il serait nécessaire qu'il n'y ait absolument aucune surtension aux bornes de la machine. Pour tenir compte de cet aspect pratique, la valeur de la catégorie de contrainte A a été augmentée de 10 % à 1,10. La valeur 2,0 est rencontrée dans le cas où le convertisseur est raccordé à la machine par un câble long. La bande entre 1,1 et 2,0 a été divisée en deux parties pour des raisons pratiques. Une limite de 2,5 a été appliquée aux conditions les plus extrêmes susceptibles de se produire pendant le fonctionnement. Des exemples où ceci peut se produire sont les suivants: lorsqu'un freinage rétroactif peut se produire ou lorsque, dans des applications particulières de grue, les modalités de mise à la terre du convertisseur peuvent introduire des oscillations dans la mise à la terre du signal du convertisseur quand un seul système de courant continu entraîne plusieurs convertisseurs dans un système complexe d'entraînement étendu [2]. Le Tableau A.1 indique l'usage de ces facteurs pour calculer les tensions maximales de crête pour différents facteurs de dépassement.

Il convient d'effectuer les essais de qualification et de type pour une combinaison donnée de catégories de contraintes à la valeur la plus sévère pour le facteur de dépassement. L'Article B.2 spécifie la tolérance liée à la valeur du temps de montée.

8 Essais de qualification de conception et de type pour les systèmes d'isolation de Type I

8.1 Généralités

L'essai de l'isolation électrique pour des machines alimentées par des mécanismes d'entraînement convertisseurs comprend deux étapes. La première consiste à qualifier les matériaux, la conception du système d'isolation et la technique de fabrication. Pour des systèmes d'isolation de Type I, il est effectué en utilisant des motorettes ou des formettes qui sont soumises à des cycles thermiques et à des procédures d'épreuve qui comprennent la vibration mécanique, l'exposition à l'humidité et la haute tension. Des essais de diagnostic sont réalisés sur ces échantillons ainsi que sur les enroulements complets dans le but de vérifier l'absence de décharges partielles. La deuxième étape est un essai de type réalisé sur le bobinage complet ou sur toute la machine.

A partir des résultats de ces essais de qualification et de type, une classe d'isolation de la tension de choc est attribuée à la machine, laquelle définit la tension maximale admissible en unités U_N exerçant une contrainte sur des parties du système d'isolation en fonctionnement alimenté par convertisseur (voir Annexe C).

8.2 Essai de qualification de la conception

Pour les besoins de la présente norme, un essai de qualification est réalisé pour connaître la capacité à résister à différentes contraintes. Pour des systèmes d'isolation de Type I, il repose sur des essais PDIV réalisés avant et après les cycles thermiques et d'autres essais que définit la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31, ainsi que la contrainte de tension à l'un des niveaux de catégorie de contrainte que définit l'Article 7 en augmentant la tension d'un facteur approprié d'augmentation défini à l'Article B.3. La réalisation du vieillissement thermique à l'une des trois températures de vieillissement spécifiées dans la CEI 60034-18-21 ou la CEI 60034-18-31 n'est nécessaire que si on a déjà déterminé la classe thermique du système d'isolation à l'aide des essais selon ces deux normes.

8.3 Essai de type

Dans le cas des systèmes d'isolation de Type I, les essais de décharges partielles servent à prouver l'absence de décharges partielles [5][6]. L'enroulement (ou la machine) en entier est soumis à la tension appropriée à la catégorie de contrainte sélectionnée (Tableau 4), augmentée d'un facteur (Tableau B.2). Si, par exemple, l'application est celle d'une machine destinée à être entraînée par une tension à laquelle le facteur de dépassement aux bornes est de 1,3 (modéré), les facteurs de contrainte à utiliser pour calculer la tension d'essai sont respectivement de 1,5 (dépassement) et de 0,3 μ s (temps de montée, voir Article B.1).

9 Equipement d'essai

9.1 Mesure de la décharge partielle à la fréquence industrielle

Un appareil de mesure de la décharge partielle conventionnel pour laboratoire qui utilise soit un condensateur de couplage haute tension soit un transformateur de courant haute fréquence peut être utilisé lorsque la tension appliquée à l'objet en essai a une forme d'onde sinusoïdale de 50 Hz ou 60 Hz. La CEI/TS 60034-27 fournit les précisions sur l'équipement et les méthodes d'essai. Il convient de réserver les tensions appliquées de 50 Hz ou 60 Hz ainsi que la méthode d'essai de DP que décrit la CEI/TS 60034-27 à des objets en essai capacitifs tels que des bobines, des formettes et des motorettes individuelles.

9.2 Mesure de la décharge partielle sous impulsions de tension

Des appareils d'essai de DP conventionnels à des tensions de 50 Hz ou 60 Hz comme ceux que décrit la CEI/TS 60034-27 ne peuvent généralement pas être utilisés quand la tension appliquée est une impulsion de tension à court temps de montée. Un temps de montée de 0,1 μ s comporte un résidu harmonique dont les fréquences sont supérieures à 3 MHz. Cela signifie que l'impulsion de tension aura des composantes comprises dans la bande passante de la plupart des détecteurs de type CEI/TS 60034-27; il en résulte un signal affiché qui peut représenter plusieurs centaines de fois l'amplitude des pulsations de décharges partielles. C'est pourquoi il est important de s'assurer de la distinction effective entre les pulsations de décharges partielles et les composantes haute fréquence des impulsions de tension. De plus, les impulsions de tension peuvent être suffisamment élevées pour détruire l'électronique du détecteur de décharges partielles.

Un détecteur de décharges partielles de type différent est nécessaire pour faire la distinction entre les décharges partielles et les composantes de court temps de montée des impulsions de tension. Il convient que le détecteur abaisse toutes les composantes de fréquence dans la tension de choc à un niveau moindre que les composantes haute fréquence liées aux décharges partielles. L'affichage peut être un oscilloscope standard ou un analyseur de spectre. La CEI/TS 61934 donne des indications sur la méthode et l'équipement à utiliser. Il est essentiel que les décharges partielles dues aux impulsions à temps de montée court soient séparées des résidus éventuels de la tension de choc. Noter que les décharges partielles distantes du capteur DP peuvent ne pas être détectées.

9.3 Générateurs d'impulsions de tension

Il faut un générateur d'impulsions pour réaliser des essais de décharges partielles dans des conditions de tension de choc. Pour simuler correctement les chocs pour la catégorie de contrainte appropriée, il convient que le générateur d'impulsions de tension soit en mesure de produire un temps de montée égal à $0,3 \mu\text{s} \pm 0,2 \mu\text{s}$. Une tolérance plus étendue peut être acceptable pour des enroulements à haute capacité (voir Article B.2). Il convient que l'amplitude de sortie du générateur d'impulsions puisse être commandée de zéro volt à la tension maximale nécessaire pour les caractéristiques assignées de la tension de l'enroulement. La présentation des résultats doit comporter les éléments suivants:

- a) le niveau de sensibilité DP, le niveau du bruit de fond et le niveau du bruit du système de détection comme les définit la CEI/TS 61934;

- b) la tension de choc appliquée dans les conditions de charge (objet en essai) et la confirmation de la conformité aux Figures B.1 et B.2;
- c) un enregistrement photographique ou numérique de la forme d'onde que présente le choc aux bornes de la machine;
- d) la présence ou l'absence du rotor pour les essais effectués sur les enroulements complets du stator.

Il est recommandé de mentionner la tension entre crêtes du générateur d'impulsions et d'indiquer si elle est unipolaire ou bipolaire.

9.4 Sensibilité

En général, la sensibilité d'un détecteur de décharges partielles baisse à mesure que l'impédance de la charge diminue (ou que sa capacité augmente). À titre indicatif, il convient que la sensibilité escomptée lors d'essais de qualification et de type qui relèvent de la présente norme soit de 1 pC par nF de la charge capacitive à 50 Hz ou 60 Hz, la sensibilité minimale étant de 1 pC. Un système de mesure capable d'un tel niveau de sensibilité est considéré suffisamment sensible pour réaliser des essais de décharges partielles sur des charges inductives quand des impédances sont associées.

9.5 Essais de décharges partielles

9.5.1 Tension à fréquence industrielle

Pour les besoins de la présente norme, la liberté de décharges partielles est définie comme inférieure à 5 pC pour des échantillons entre spires ainsi que pour des motorettes et des formettes quand les mesures sont réalisées à 50 Hz ou 60 Hz. Ces valeurs représentent aussi les valeurs maximales de bruit admissibles pendant les mesures. L'essai de décharges partielles est réalisé selon les procédures de la CEI/TS 60034-27.

9.5.2 Excitation de choc

Les essais de décharges partielles à des tensions de choc sont réalisés conformément à la CEI/TS 61934. Le niveau de bruit de fond est donné en mV. Ce niveau de bruit de fond et la sensibilité conformément à la CEI/TS 61934 doivent figurer dans le compte-rendu.

10 Qualification de la conception pour des systèmes d'isolation de Type I

10.1 Généralités

Pour des systèmes de Type I, les essais ne sont pas réalisés pour obtenir une défaillance par décharge électrique. Les échantillons pour essai sont soumis à des cycles thermiques et mécaniques comme le décrivent la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31, ainsi qu'à plusieurs essais de résistance électrique. Après chaque cycle partiel, les objets en essai sont soumis à un essai de diagnostic de décharges partielles et l'essai prend fin quand la tension d'apparition de décharges partielles devient inférieure à la tension d'essai spécifiée pour la catégorie de contrainte sélectionnée.

La qualification consiste en une comparaison avec un système de référence tel que défini en 4.3 de la CEI 60034-18-1:2010, qui a été qualifié dans les conditions indiquées en 10.4. Le candidat doit subir les mêmes cycles de vieillissement ou davantage que le système de référence sans qu'il y ait décharge partielle au-dessous de la valeur d'essai spécifiée. La tension d'apparition est la tension minimale à laquelle on peut détecter des décharges partielles. Dans le cas d'une fréquence industrielle, les mesures sont réalisées conformément à la CEI/TS 60034-27, dans les limites de sensibilité décrites en 9.4. En cas de mesure de la décharge partielle par une tension de choc, les essais sont réalisés conformément à la CEI/TS 61934 qui décrit les contrôles de sensibilité et les exigences du compte-rendu.

Des expériences de fonctionnement éprouvé peuvent avoir permis au constructeur d'assigner une catégorie de contrainte à une machine au moyen d'un système d'isolation de conception spécifique. Dans ce cas et avec l'accord de l'acheteur, cette expérience peut se substituer à la qualification du système d'isolation pour les applications alimentées par convertisseur.

10.2 Marche à suivre

10.2.1 Généralités

Les systèmes d'isolation de Type I sont destinés à être utilisés sans activité de décharges partielles pendant leur durée de vie. Il est primordial de mesurer si la décharge partielle a lieu à la tension d'essai spécifiée (voir Article B.6). Le Tableau 5 ainsi que les Figures B.1 et B.2 représentent les formes d'ondes de tension admissibles pour les différents composants du système d'isolation. Les échantillons pour essai sont à réaliser à l'aide des matériaux et des procédés de fabrication qui servent à la production. Ils peuvent représenter soit une partie du système d'isolation soit le système d'isolation en entier.

10.2.2 Paires torsadées ou dispositif équivalent

Dans le cas de fils plats, des paires torsadées ou des conducteurs parallèles voisins peuvent être utilisés pour réaliser un essai de comportement entre spires afin de déterminer le niveau de contrainte de tension à utiliser entre des conducteurs parallèles au cours de l'essai de motorette ou de formette. Les tensions sinusoïdales et les tensions de choc sont supposées donner les mêmes résultats pour ce qui est de la tension d'apparition de décharges partielles parce que la répartition de la tension qui a lieu dans un enroulement complet n'est pas représentée. Par conséquent, l'une ou l'autre forme d'onde de tension peuvent être utilisées lors de l'essai d'apparition de décharges partielles. La contrainte de tension doit être augmentée à un niveau supérieur à la contrainte moyenne par spire prévue lors du fonctionnement pour prendre en compte la concentration de contraintes décrite en 5.4. Les niveaux d'essai spécifiés à l'Annexe B s'entendent entre crêtes.

10.2.3 Motorette (à fils jetés) ou formette (préformée)

Ces modèles peuvent être utilisés pour représenter l'isolation entre phases ou phase-terre. L'isolation entre spires peut aussi être représentée en utilisant des conducteurs parallèles lorsqu'une tension à ondes sinusoïdales peut être utilisée. Il convient de soumettre ce dispositif de modèle à l'essai selon le Tableau 5. Il convient que les tensions appliquées qui exercent une contrainte sur les composants d'isolation du modèle reproduisent les contraintes de tension à l'intérieur de la machine complète en service.

10.2.4 Enroulements complets

Ils permettent de soumettre l'isolation entre phases et phase-terre à l'essai. Il convient de soumettre à l'essai l'isolation entre spires dans des enroulements conventionnels en utilisant une tension de choc. Pour réaliser un essai, la forme de l'onde de choc présente l'avantage que toutes les zones de l'enroulement peuvent être soumises à la contrainte d'une manière représentative, même si le point en étoile est raccordé. Il est néanmoins important de tenir compte de la répartition de la tension à l'intérieur de l'enroulement. Il convient de réaliser les essais sur des échantillons imprégnés quand il est prévu que la machine en fonctionnement comporte des enroulements imprégnés.

Lorsque l'objet en essai est un enroulement complet et que la capacité entre l'enroulement et la terre est importante, le temps de montée de la tension de choc appliquée à l'objet en essai peut dépasser le temps de montée d'origine du générateur d'impulsions. Ce phénomène peut apparaître quand le générateur d'impulsions ne peut pas fournir suffisamment de courant capacitif pour l'objet en essai afin de produire une montée de tension à front raide. Il peut y être remédié en améliorant la capacité du courant et l'impédance de sortie du générateur d'impulsions. Comme il est difficile d'obtenir le temps de montée nécessaire quand les essais ont lieu sur de grandes machines à l'aide de générateurs d'impulsions disponibles dans le commerce, la tolérance applicable au temps de montée de la forme d'onde est assouplie dans le cas de grandes machines comme cela est décrit à l'Article B.2.

Il est autorisé de réaliser des essais d'ondes sinusoïdales sur l'activité de décharges partielles si un enroulement spécial est préparé dans lequel on utilise des paires de fils et que la tension maximale susceptible de se produire entre deux spires voisines est appliquée entre elles. Le Tableau 5 donne les situations dans lesquelles des ondes sinusoïdales ou une tension de choc doivent être utilisées.

Tableau 5 – Formes d'onde de tension admissibles lors des essais sur des composants de système

Composant à soumettre à l'essai	Essais de qualification de la conception				Essai de type	
	Paires torsadées ou équivalent		Motorette ou formette ou enroulement complet		Enroulement complet	
	Onde sinusoïdale	Choc	Onde sinusoïdale	Choc	Onde sinusoïdale	Choc
Entre spires	✓	✓	*	✓	*	✓
Entre phases	Non	Non	✓	✓	✓	✓
Entre phase et terre	Non	Non	✓	✓	✓	✓
* Il faut un enroulement spécial d'essai dans lequel l'isolation entre spires est simulée par au moins deux conducteurs, isolés électriquement et enroulés parallèlement, dont l'un est mis à la terre et l'autre est sous tension.						

10.3 Préparation des objets en essai

10.3.1 Généralités

Il convient que les échantillons pour essai correspondent le plus possible aux conceptions exposées dans la CEI 60034-18-21 pour des échantillons à fils jetés et dans la CEI 60034-18-31 pour des échantillons préformés ou des enroulements de production.

10.3.2 Échantillons d'isolation entre spires

Dans l'essai entre spires, le PDIV ou le RPDIV sont mesurés sur un simple échantillon de paires torsadées (voir la CEI 60172) ou un dispositif équivalent. Cet essai peut servir de base pour établir le niveau de contrainte de tension à utiliser entre des conducteurs parallèles pendant l'essai de motorette ou de formette.

Des essais de décharges partielles sur des échantillons de paires torsadées imprégnées ne peuvent pas être utilisés pour évaluer la résine d'imprégnation et le chemin de fabrication utilisés pour des motorettes, des formettes ou un enroulement complet. Pour réaliser cette évaluation, seuls les motorettes, les formettes ou des enroulements complets sont admis.

10.3.3 Échantillons d'essai de motorette / formette ou enroulements complets

Les échantillons sont obtenus en utilisant les mêmes matériaux et les mêmes processus que ceux qui servent aux bobines de service. Lorsqu'il est prévu d'utiliser une isolation entre phases, comme dans le cas où deux bobines de phases différentes occupent la même encoche, le modèle ou l'enroulement complet doit reproduire cette caractéristique de conception. Il convient de réaliser les essais sur des échantillons imprégnés quand il est prévu que la machine en fonctionnement comporte des enroulements imprégnés. Il convient que l'isolation entre phases et l'isolation de paroi principale reproduisent toutes les lignes de fuite et les distances dans l'air (entre phases) qui sont celles de l'enroulement de production. Il convient que les échantillons reproduisent les matériaux d'isolation de production et l'épaisseur pour chaque type d'isolation à soumettre à l'essai. Dans le cas d'essais effectués sur des enroulements complets, on doit suivre les procédures mentionnées en 11.2 et en 11.3.

10.4 Essais de qualification de la conception

10.4.1 Généralités

Le but est de réaliser, conformément à la CEI 60034-18-21 ou à la CEI 60034-18-31, des essais de vieillissement thermique sur les composants et les parties du système d'isolation qui leur sont liées et de déterminer à quel point apparaît la décharge partielle en dessous de la tension d'essai spécifiée. La catégorie de contrainte pour laquelle le système est à qualifier (Article 7), la procédure de vieillissement et les données de diagnostic doivent faire l'objet d'un compte-rendu à la fin de l'essai. La conception candidate du système d'isolation est considérée comme qualifiée si elle résiste aux mêmes cycles de vieillissement ou davantage (sans apparition de décharges partielles en dessous des valeurs d'essai spécifiées) qu'un système de référence dont on a prouvé qu'il a été en service. Au moins cinq échantillons doivent avoir été soumis à des essais de décharges partielles pour obtenir des résultats d'essai statistiquement significatifs, sauf pour des enroulements complets, auquel cas il suffit d'un échantillon.

10.4.2 Essais de prédiagnostic

Un essai de vieillissement électrique de prédiagnostic doit être réalisé pendant 24 h à température ambiante en appliquant une fréquence élevée, à une tension qui convienne à la catégorie de contrainte choisie, augmentée d'un facteur selon le Tableau B.2. Cet essai a pour but de détecter à un stade précoce la présence de matériaux diélectriques qui ont une importante tangente de perte et qui, bien qu'ils se comportent de façon satisfaisante à des fréquences industrielles, peuvent provoquer la surchauffe aux fréquences plus élevées qui apparaissent quand le convertisseur fonctionne. Le choix de la fréquence dépend de la fréquence prévue de répétition de la tension de choc maximale en service.

10.4.3 Essais de diagnostic

Des essais de diagnostic doivent être réalisés sur des échantillons, avant le premier cycle de vieillissement et après chaque cycle partiel de vieillissement de la manière suivante. Chaque essai de diagnostic électrique doit être réalisé sur chaque bobine de chaque motorette, formette ou composant d'enroulement. Outre les essais de diagnostic spécifiés dans la CEI 60034-18-21 ou la CEI 60034-18-31, un essai de décharges partielles doit être réalisé pour vérifier s'il y a eu apparition de décharges partielles au niveau d'essai spécifié (Tableau 4 et Article B.1).

10.4.4 Cycle de vieillissement

Il convient de réaliser sur les échantillons pour essai les cycles partiels de vieillissement thermique appropriés comme les spécifie la CEI 60034-18-21 ou la CEI 60034-18-31 pour qualifier les systèmes pour la classe thermique exigée. Si la classe thermique pour le système d'isolation soumis à l'essai a déjà été déterminée par un essai conformément à la CEI 60034-18-21 et à la CEI 60034-18-31, il est uniquement nécessaire de réaliser le vieillissement à l'une des températures appropriées. Les cycles partiels de diagnostic spécifiés dans la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31 doivent également être appliqués. Ils doivent comprendre les essais mécaniques, d'humidité et de tension. Il convient de noter que l'humidité peut avoir un effet sur les résultats de l'essai de décharges partielles. Pour cette raison, l'essai d'humidité doit être réalisé à une autre étape de la procédure, pour que l'essai final de décharges partielles ne le suive pas immédiatement.

10.4.5 Essais de décharges partielles

Pour ce qui est des essais de décharges partielles, il convient de les réaliser:

- a) Entre phases.
- b) Entre phase et terre.
- c) Entre spires.

Il est seulement nécessaire, lors de l'essai de décharges partielles, d'augmenter la tension jusqu'à la valeur d'essai et de vérifier qu'il n'y a pas eu apparition de décharges partielles. Il n'est pas nécessaire de mesurer la tension d'apparition. Pendant ces essais, tous les capteurs intégrés dans l'enroulement doivent être reliés électriquement au noyau du stator.

Pour l'isolation phase-terre, l'essai doit être réalisé successivement à chaque borne de phase à la terre, les autres bornes de phase et le corps magnétique étant mis à la terre. Pour l'isolation entre phases, il convient d'appliquer la tension d'essai successivement entre chaque borne et les deux autres, le corps magnétique étant flottant. Dans le cas d'une application de tension alternative à onde sinusoïdale, il est nécessaire de déconnecter chaque enroulement de phase avant cet essai. Chacune des trois combinaisons possibles doit être soumise à l'essai successivement. L'essai entre spires peut être réalisé à une tension alternative à onde sinusoïdale quand on utilise des conducteurs parallèles. Sinon la contrainte de tension entre les spires est produite par l'équipement d'essai de tension de choc. Il est nécessaire de détecter l'activité de décharges partielles pendant ces essais par un équipement de mesure capable de fonctionner dans des conditions de choc (voir la CEI/TS 61934).

Il convient de soumettre les échantillons pour essai à une inspection visuelle pour constater l'état des matériaux d'isolation et d'en faire un compte-rendu, mais cela ne constitue pas un critère final d'une évaluation.

10.5 Critère de réussite pour l'essai de qualification de la conception

Le critère de réussite pour qualifier un échantillon pour essai de Type I est que l'apparition de décharges partielles se produit au-dessus de la tension de fonctionnement pour la tension de la catégorie de contrainte choisie (Tableaux B.3 et B.4), multipliée par un facteur d'augmentation (Tableau B.2), quand l'essai est réalisé sur les échantillons qui ont été soumis à un vieillissement thermique. Il faut que le système candidat résiste aux mêmes cycles de vieillissement ou davantage que le système de référence sans qu'il y ait apparition de décharges partielles en dessous de la valeur spécifiée. Un exemple de méthode de calcul de la tension d'essai est décrit à l'Article B.6.

Lorsque des essais de décharges partielles sont réalisés dans des conditions de choc, la tension de choc doit satisfaire aux exigences mentionnées à l'Article B.2.

11 Procédure d'essai de type pour des systèmes d'isolation de Type I

11.1 Généralités

Les essais de type sont réalisés sur une machine ou un enroulement complet. L'acceptation demande une série d'essais au cours desquels la tension d'apparition de décharges partielles doit dépasser des valeurs spécifiées. Les essais sont réalisés dans des conditions de choc ou à fréquence industrielle selon le Tableau 5. Lorsque l'essai de qualification de la conception a été réalisé avec succès sur un enroulement complet, le système d'isolation a effectivement satisfait à son essai de type et aucun essai de type supplémentaire n'est exigé.

L'essai à une tension sinusoïdale à fréquence industrielle quand toutes les phases peuvent être séparées est plus facile à réaliser et donne des résultats d'essai conservateurs. L'essai de choc constitue une représentation plus réaliste de la contrainte prévue exercée sur le convertisseur. Il faut en outre que soit disponible pour l'essai une forme d'onde de tension de choc aussi proche que possible de celle que fournit réellement le convertisseur. Elle doit dans tous les cas être conforme aux Figures B.1 et B.2a. Les résultats peuvent être différents du fait que la répartition de la tension d'essai est différente à l'intérieur de l'enroulement soumis à l'essai [2].

Pour un essai à ondes sinusoïdales, l'apparition de décharges partielles est reconnue lorsqu'au moins une impulsion est détectée par cycle. Un essai équivalent à l'essai de choc

consiste à détecter au moins une pulsation pendant tous les chocs qui apparaissent lors d'un cycle de fonctionnement fondamental.

L'essai de décharges partielles est réalisé à la tension de fonctionnement maximale entre crêtes, multipliée par un facteur d'augmentation. Un exemple de méthode de calcul de la tension d'essai est décrit à l'Article B.6. La température de l'enroulement doit être de $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. Cet essai est réalisé suite à un accord entre l'acheteur et le constructeur.

11.2 Essais de décharges partielles à fréquence industrielle

L'enroulement complet est tout d'abord soumis à des essais de décharges partielles entre 50 Hz et 60 Hz de la manière suivante. Les niveaux de tension de fonctionnement indiqués au Tableau B.3 sont augmentés du facteur d'augmentation correspondant donné dans le Tableau B.2. L'enroulement est défectueux si la tension d'apparition de décharges partielles est inférieure à la tension d'essai.

- a) Un essai de DP phase-terre est réalisé entre toutes les bornes de phase et le noyau. Il n'est pas nécessaire de mettre hors circuit des enroulements.
- b) Un essai de DP entre phases est réalisé, le noyau étant flottant et le point d'étoile hors circuit. Pour des enroulements triangulaires, il convient de mettre hors circuit toutes les phases et que le noyau soit flottant. Si le point d'étoile / point delta ne peut pas être mis hors circuit pour isoler les phases, un essai de choc doit être réalisé.

11.3 Essais de DP de choc

Les essais de choc représentent le mieux les conditions de service [4][5][6]. Comme la forme du choc peut avoir un effet sur le résultat de l'essai, on doit utiliser pour l'essai une forme d'onde de tension de choc aussi proche que possible de celle qui est appliquée au convertisseur en service. L'enroulement est défectueux si la tension d'apparition de décharges partielles appliquée plusieurs fois est inférieure à la tension d'essai spécifiée.

- a) Réaliser un essai phase-terre de décharges partielles à l'aide d'une tension de choc dont le temps de montée est le même que celui escompté du convertisseur et de la forme d'onde spécifiée selon la Figure B.2. Le temps de montée peut être plus long que celui spécifié puisqu'il est moins significatif selon le Tableau 3. La surcharge de l'isolation entre spires est moindre quand le temps de montée est plus long. Il convient de réaliser successivement l'essai à chaque borne de phase à la terre, les autres bornes de phase et le noyau étant mis à la terre. Noter que la tension de l'essai de choc n'est pas seulement appliquée à l'isolation phase-terre mais aussi à l'isolation entre phases. Par conséquent, si la tension d'essai phase-terre spécifiée est supérieure à celle entre phases, l'isolation phase-terre doit être soumise à l'essai en utilisant une tension de fréquence industrielle pour qu'il n'y ait pas de contrainte sur l'isolation entre phases.
- b) Réaliser un essai entre phases de décharges partielles à l'aide d'une tension de choc dont la forme d'onde est spécifiée selon la Figure B.2. L'essai de choc peut être réalisé seulement si aucune apparition de décharges partielles n'a été détectée pendant l'essai d'isolation phase-terre. Le temps de montée peut être plus long que celui spécifié puisqu'il est moins significatif selon le Tableau 3. De cette manière, la surtension de l'isolation entre spires peut être réduite. Il convient d'appliquer la tension d'essai successivement entre chaque borne et les deux autres, le noyau flottant. Cela permet de réduire la surtension de l'isolation phase-terre.
- c) Réaliser un essai d'isolation entre spires en appliquant successivement des tensions de choc entre chaque borne de phase et la terre, les autres bornes de phase et le noyau étant mis à la terre. Le temps de montée de la tension de choc doit correspondre aux valeurs que donnent le Tableau B.1 et les Figures B.1 et B.2, et l'amplitude doit correspondre à l'Article B.6. L'enroulement n'a pas satisfait à l'essai si le RPDIV est inférieur au critère de réussite. L'enroulement a réussi l'essai si le RPDIV est supérieur au critère de réussite. S'il est prévu d'attribuer à la machine une classe spéciale d'isolation de la tension de choc pour l'isolation entre spires (voir Article C.2), cet essai est réalisé en utilisant des conducteurs parallèles dans l'enroulement s'il n'y a pas d'autre possibilité.

12 Essais individuels de série

Il est dans les règles de l'art de réaliser un essai individuel de série sur chaque enroulement. Il est recommandé à cet effet de réaliser les essais décrits en 11.2 et 11.3 après accord entre le constructeur et le client.

13 Analyse, compte-rendu et classification

Il convient de respecter la marche à suivre indiquée en 6.2 de la CEI 60034-18-1:2010 concernant l'analyse, le compte-rendu et la classification pour que toutes les données pertinentes soient correctement analysées et fassent l'objet d'un compte-rendu traçable. En particulier, un enregistrement photographique de la forme d'onde de la tension de choc aux bornes de la machine pendant les essais doit être fourni.

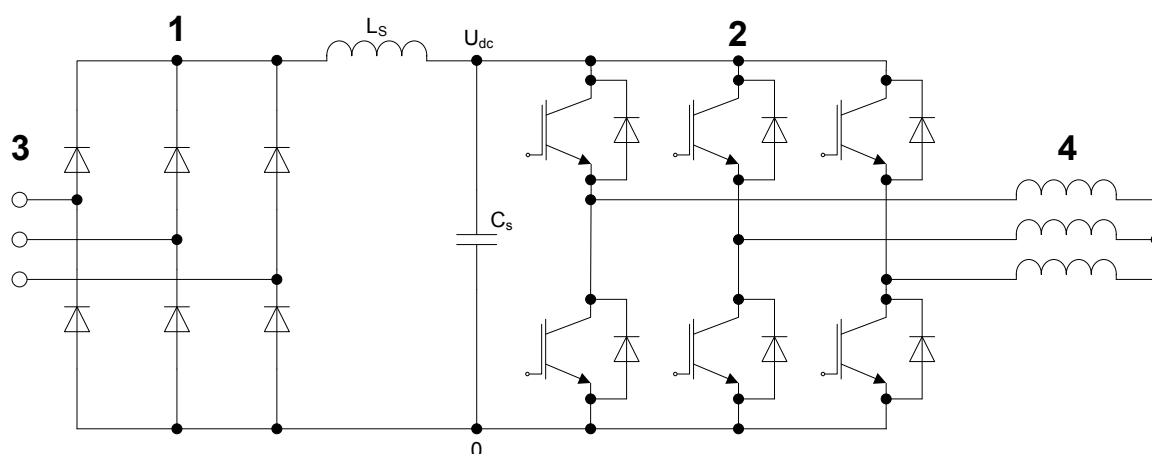
Annexe A (informative)

Déduction des tensions en service possibles aux bornes pour une machine alimentée par convertisseur

A.1 Calcul de la tension de bus à courant continu

Une commande de convertisseur U de modulation de largeur d'impulsion (PWM) ou de puissance vectorielle de machine produit des ondes rectangulaires dont la tension a une amplitude fixe, la largeur et la fréquence de répétition étant variables. La tension de choc à la sortie du convertisseur n'est pas supérieure à la tension de barre à courant continu (U_{dc}). Cette tension dépend soit de la tension redressée du secteur, soit du niveau de tension de freinage soit de la tension de régulation de correction du facteur de puissance.

La Figure A.1 représente un schéma simplifié des circuits pour un système machine-convertisseur.



IEC 0568/14

Légende

- 1 Redresseur
- 2 Convertisseur PWM
- 3 Entrée en CA
- 4 Enroulement de machine

L_s et C_s représentent l'inductance et la capacitance du système

Figure A.1 – Schéma des circuits pour un système machine-convertisseur

Dans une première étape, il est nécessaire de définir un point neutre qui peut servir de référence à toutes les tensions. Par exemple dans un système à trois phases:

$$\begin{aligned}
 u_1(t) &= \sqrt{2}U_{\text{phase}} \sin(\omega t) \\
 u_2(t) &= \sqrt{2}U_{\text{phase}} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\
 u_3(t) &= \sqrt{2}U_{\text{phase}} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)
 \end{aligned}$$

Ceci peut être étendu à un système multiphase. La règle générale pour définir l'amplitude de la tension multiphase en courant alternatif après redressement est donnée par:

$$U_{\text{dc}} = a \left(\frac{\varphi}{\pi} \right) \sin\left(\frac{\pi}{\varphi} \right) U_{\text{max}} = k \cdot U_{\text{max}}$$

Où:

k est une constante;

a est le type de redressement ($a = 1$ pour un redressement de demi-onde ou $a = 2$ pour un redressement de pleine onde);

φ est le nombre de phases (au moins 2).

La formule s'applique uniquement à des systèmes équilibrés, et φ a pour valeur minimale 2. Dans le cas spécial d'un entraînement monophasé, il est nécessaire de considérer que la tension est une combinaison de deux tensions, chacune de $\sqrt{2}U/2$, où $\varphi = 2$.

La tension à la sortie de la barre à courant continu (U_{dc}) et donc la valeur de crête pour la tension de sortie du convertisseur peut être calculée à l'aide de la formule ci-dessus. Par exemple, dans le cas général où la tension sinusoïdale triphasée est entièrement redressée, on obtient

$$U_{\text{dc}} = 2 \cdot \frac{3}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \sqrt{2}U_{\text{phase}} = 2 \cdot \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sqrt{2}U_{\text{phase}} = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{3} \sqrt{2}U_{\text{phase}} \text{ et}$$

$$\sqrt{3}U_{\text{phase}} = U_{\text{ligne}} \text{ (c'est-à-dire la tension efficace entre phases).}$$

$$\text{Par conséquent, } U_{\text{dc}} = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2}U_{\text{ligne}}$$

Par exemple si $U_{\text{ligne}} = 500 \text{ V}$ efficaces, alors

$$U_{\text{dc}} = 500 \frac{3}{\pi} \sqrt{2} = 675 \text{ V} = 1,35U_{\text{ligne}} = 1,65U_{\text{max}}$$

Le facteur de 1,35 est déduit de considérations théoriques, mais dans la pratique il peut être plus élevé. Dans les cas de récupération par exemple, la limite maximale de tension de barre à courant continu est la tension d'arrêt dans l'entraînement qui est bien plus élevée que la tension de barre à courant continu provenant du secteur.

A.2 Calcul des tensions maximales de crête pour un convertisseur à deux niveaux

Les tensions de crête sont déterminées par la disposition du câble et de la machine, et les surtensions sont donc de $0 U_{dc}$, $0,5 U_{dc}$, U_{dc} ou $1,5 U_{dc}$ qui s'ajoutent à la tension de sortie du convertisseur. Pour tenir compte de considérations pratiques, la valeur du facteur de dépassement pour la catégorie de contrainte inférieure est augmentée à 1,1. Les valeurs présentées au Tableau A.1 proviennent du calcul suivant.

$$U_{dc} = \text{tension continue de boucle} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U_{\text{ligne}} = \frac{3}{\pi} \sqrt{3} U_{\text{max}}$$

Tension entre phases sur la machine = tension continue de boucle $\times$ facteur de dépassement (1,1, 1,5, 2 ou 2,5).

Pour la conversion en unités de U_{max} , la tension est divisée par la tension maximale phase-neutre pour le système comme calculé à l'Article A.1.

Tableau A.1 – Exemples de tensions maximales de crête

Tension assignée V efficaces	U_{dc} V	Facteur de dépassement U_p/U_a	U_p V	U_{max} V	$U_{p/p} / U_{\text{max}}$
500	675	1,1	743	409	1,82
500	675	1,5	1 013	409	2,48
500	675	2	1 350	409	3,30
500	675	2,5	1 688	409	4,13

Annexe B (normative)

Déduction des tensions d'essai pour les systèmes d'isolation de Type I

B.1 Catégories de contraintes

Les tensions d'essai à utiliser dans la présente norme pour les essais de qualification et de type d'un système d'isolation sont déduites de la catégorie de contrainte choisie. Les catégories de contraintes indiquées à l'Article 7 fournissent des plages de fonctionnement pour la tension de crête qui apparaît aux bornes d'une machine tournante entraînée par un convertisseur à deux niveaux et le temps de montée par défaut des impulsions. Il faut donc choisir avec soin les essais spécifiés pour soumettre le système d'isolation aux essais appropriés. Pour des raisons de commodité, le Tableau B.1 présente de nouveau les catégories de contraintes.

Tableau B.1 – Résumé des catégories de contraintes

Catégorie de contrainte	Facteur de dépassement (OF) U_p/U_a	Temps de montée de l'impulsion t_r μs
A – Faible	$OF \leq 1,1$	0,3
B – Modérée	$1,1 < OF \leq 1,5$	
C – Sévère	$1,5 < OF \leq 2,0$	
D – Extrême	$2,0 < OF \leq 2,5$	

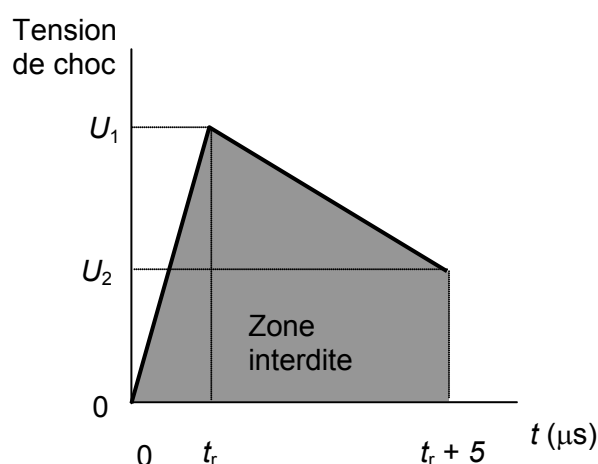
B.2 Exigences concernant la tension de choc appliquée

La largeur totale de l'impulsion à utiliser pour réaliser les essais RPDIV doit être assez élevée pour permettre de créer une pulsation de DP [5]. La forme d'onde de l'impulsion à utiliser comporte un front de montée dont le temps de montée est 0,3 μs . Il faut que la tension de crête moyenne baisse progressivement pour devenir égale ou supérieure à la pente de U_1 à U_2 jusqu'à ce qu'une durée de 5 μs se soit écoulée. Ceci est expliqué par une zone interdite dans laquelle il convient que l'impulsion appliquée n'entre pas, ainsi que le montre la Figure B.1. Comme il est admis qu'il peut être difficile d'obtenir le temps de montée exigé à l'aide des générateurs d'impulsions disponibles dans le commerce, la tolérance concernant le temps de montée de la forme d'onde est assouplie à $\pm 0,2 \mu s$.

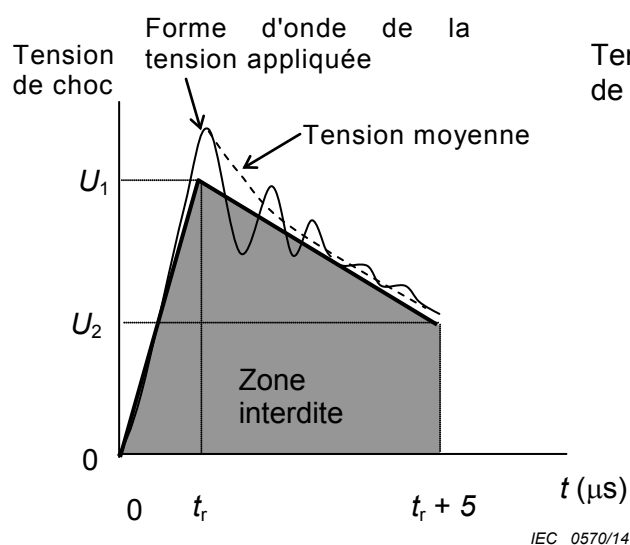
Il est admis qu'en pratique, il peut ne pas être possible d'obtenir des valeurs précises pour la forme d'onde de l'impulsion et les écarts suivants sont admis.

- Le début et la fin du front de montée peuvent s'écarter de 10 % de la linéarité.
- L'oscillation de tension est admise à la crête de la tension de choc, à condition que la tension moyenne n'entre pas dans la zone interdite.
- La crête de la tension de choc ne doit pas être inférieure à 97 % de la valeur appropriée pour la catégorie de contrainte choisie.

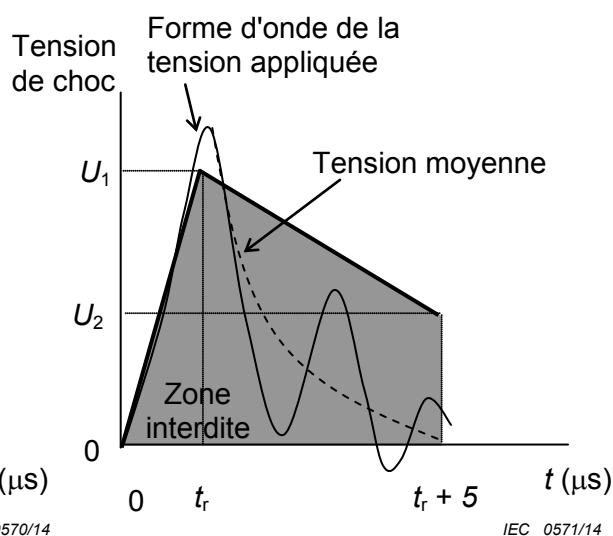
La Figure B.2 montre des exemples de formes d'onde acceptables et inacceptables de tension de choc.



IEC 0569/14

Légende U_1 Tension d'essai $U_2 = U_1 \times U_a/U_p$ **Figure B.1 – Zone interdite (en grisé) pour des essais de choc**

IEC 0570/14

Figure B.2a – Forme d'onde acceptable pour la tension utilisée dans l'essai de DP de choc (légende identique à celle de la Figure B.1)

IEC 0571/14

Figure B.2b – Forme d'onde inacceptable pour la tension utilisée dans l'essai de DP de choc**Figure B.2 – Exemples de formes d'onde d'essai****B.3 Facteurs d'augmentation pour les essais de DP**

Il existe plusieurs facteurs qu'il convient de prendre en compte pour améliorer les tensions de fonctionnement entre crêtes maximales qui sont spécifiées dans les essais de qualification et de type pour les systèmes d'isolation de Type I. Le premier découle des exigences de la CEI 60664-1 qui énumère les facteurs de sécurité qu'il convient d'utiliser pour augmenter les tensions d'essai de DP. Un facteur de sécurité de 1,25 est lié à l'effet d'hystérésis qui fait que le PDEV est de 25 % inférieur au PDIV comme le montre l'expérience pratique. Ceci

s'applique si l'activité de DP est due à une surtension transitoire supérieure à la tension de crête normale.

Un deuxième facteur d'augmentation à prendre en compte découle de la déclaration présentée en 7.6 de la CEI/TS 60034-25:2007, à savoir que si la température de l'enroulement augmente en passant de 25 °C à 155 °C, le PDIV baisse typiquement de 30 %. Pour un essai phase-terre, ce facteur est réduit à cause de l'effet de refroidissement de l'encoche sur les spires voisines, et n'est que de 5 % à 10 %.

Il convient enfin de prendre en compte l'effet du vieillissement thermique. Si la machine fonctionne près de la température liée à la classe de l'isolation, il est raisonnable de considérer que la tension d'apparition de décharge partielle va baisser à cause du vieillissement thermique lié au service. Une exigence applicable aux machines de Type I veut qu'elles restent exemptes de DP pendant toute leur durée de vie. Il convient donc d'introduire un facteur empirique qui augmente la tension d'essai sur les machines neuves pour prendre en compte l'effet du vieillissement. Une modification dans l'application de service peut aussi modifier le taux de vieillissement. Une valeur maximale de 1,2 est proposée, mais on peut cependant utiliser une valeur inférieure, fixée à partir de l'expérience en service ou d'essais en laboratoire. La valeur précise du facteur de vieillissement dépend de la température de service, et il peut ne pas être nécessaire de l'appliquer si elle est significativement inférieure à la classe de température de l'isolation. Le facteur de vieillissement a pour valeur minimale 1,0. Pour une température de service proche de la température de classe, la formule suivante peut être utilisée.

$$\text{Facteur de vieillissement} = 1,2 \left(1 - \frac{\text{Température de classe} - \text{Température de service}}{\text{Température de classe}} \right)$$

Le Tableau B.2 donne un résumé des facteurs d'augmentation à appliquer aux tensions de fonctionnement.

Tableau B.2 – Résumé des facteurs d'augmentation à appliquer aux tensions de fonctionnement

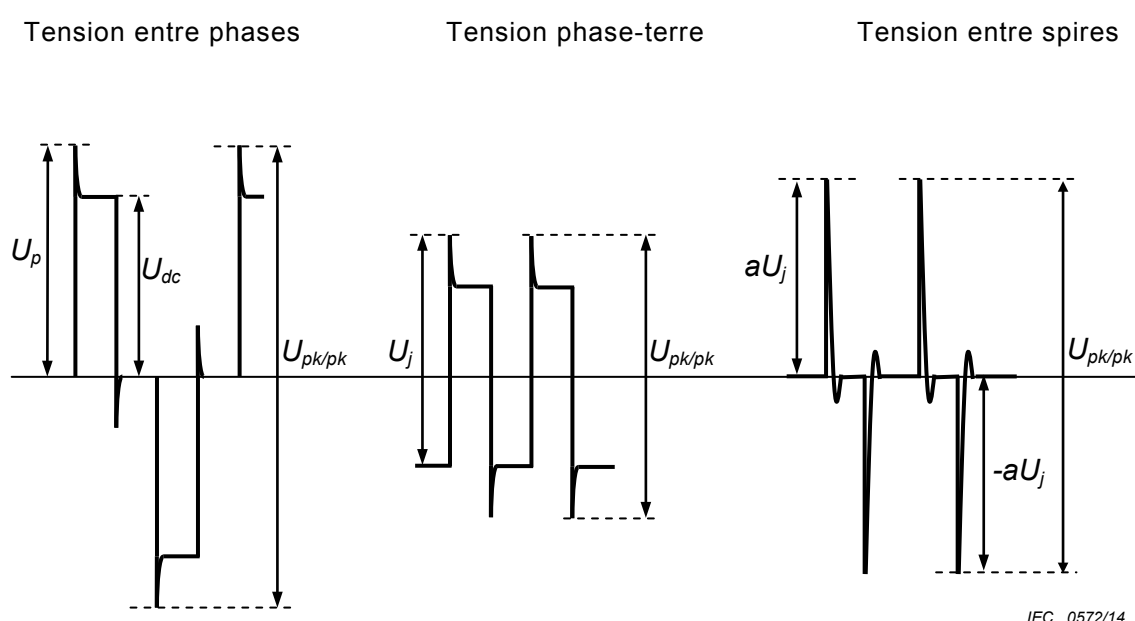
		Facteurs d'augmentation (EF)			
		Facteur de sécurité DP	Température	Vieillissement	Total (EF)
Essai de qualification	Entre phases	1,25	1,0 – 1,3	1,0	1,25 – 1,63
	Entre phase et terre		1,0 – 1,1		1,25 – 1,38
	Entre spires		1,0 – 1,3		1,25 – 1,63
Essai de type	Entre phases	1,25	1,0 – 1,3	1,0 – 1,2	1,25 – 1,95
	Entre phase et terre		1,0 – 1,1		1,25 – 1,65
	Entre spires		1,0 – 1,3		1,25 – 1,95
NOTE Le facteur total d'augmentation (colonne 6) est le produit de chaque facteur des colonnes 3 à 5.					

B.4 Tension pour les essais de qualification de la conception et de type

Pour soumettre les systèmes d'isolation de Type I à des essais de qualification de la conception et à des essais de type, on calcule la tension à utiliser lors des essais de DP en utilisant la tension de fonctionnement maximale pour la catégorie de contrainte choisie,

comme le montrent les Tableaux B.3 et B.4 pour un convertisseur à deux niveaux. Noter que les valeurs de U_p et U_b se rapportent aux tensions entre phases aux bornes de la machine.

La Figure B.3 représente schématiquement les importantes tensions entre phases et phase-terre apparaissant aux bornes d'une machine tournante alimentée par un convertisseur à deux niveaux et les tensions entre spires des bobines de la machine tournante alimentée par le convertisseur. Noter que $U_{pk/pk}$ est la tension principale de contrainte de l'isolation entre phases, phase-terre et entre spires, parce que les effets des pulsations de commutation sont moins importants et peuvent être ignorés. Le saut de tension U_j de la tension phase-terre est important pour l'isolation entre spires parce qu'il produit une tension entre spires supplémentaire. Comme le saut de tension a lieu à la fois sur le front de montée et sur le front de descente de la tension phase-terre, la tension entre spires a des pics à la fois positives et négatives. Les pics (crêtes) de tension positives et négatives sont proportionnelles au saut de tension. La Figure 7 montre la fraction, a , du saut de tension qui exerce une contrainte sur l'isolation entre spires dans le cas le plus défavorable.



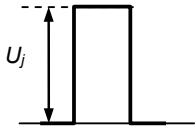
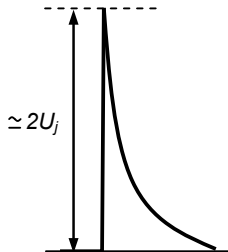
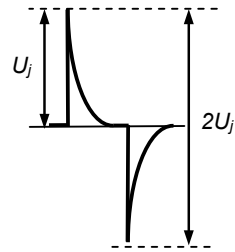
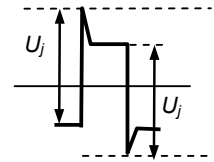
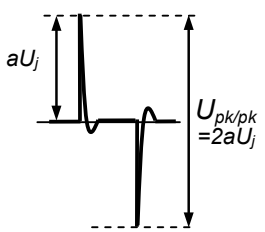
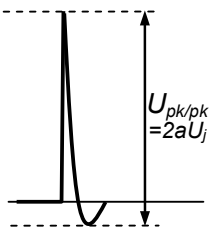
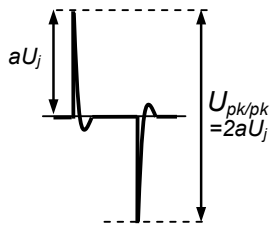
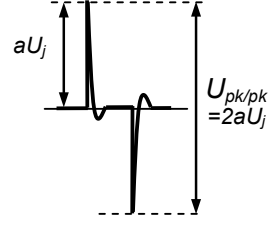
NOTE Il s'agit d'une représentation schématique (sans respecter l'échelle) des tensions entre phases, phase-terre et entre spires. La lettre "a" représente la fraction de tension qui exerce une contrainte sur l'isolation entre spires.

Figure B.3 – Comparaison entre tensions entre phases, phase-terre et entre spires pour un convertisseur à deux niveaux

Lors des essais de qualification et de type, il convient que la tension appliquée à chaque composant d'isolation par la source de tension d'essai corresponde au temps de montée et à l'amplitude spécifiés. Le paramètre le plus important de la tension est la valeur entre crêtes, comme décrit en 5.1. Dans le cas d'essais entre phases et phase-terre, l'amplitude de la tension sur chaque composant d'isolation est égale au niveau de la tension d'essai appliquée. D'autre part, dans le cas d'un essai d'isolation entre spires, pour un enroulement, l'amplitude de la tension sur l'isolation entre spires dépend aussi de la forme d'onde de la tension d'essai.

La Figure B.4 montre les formes d'onde de tension d'essai de choc et les niveaux qui permettent d'appliquer la même tension à l'isolation entre spires au moment où la machine tournante est alimentée par convertisseur. Dans le cas de la tension d'essai de choc rectangulaire et unipolaire (a), le temps de montée de l'impulsion est de $0,3 \mu s$ à la fois sur le front d'attaque sur le front de descente. Le temps entre les fronts de montée et de descente est assez court. La contrainte exercée sur l'isolation entre spires dépend de la dérivée de la forme d'onde de tension, et les fronts de montée et de descente interviennent donc tous deux dans la tension entre spires. Si la tension d'essai de choc conventionnelle (b et c) est utilisée,

pour laquelle le temps de descente est beaucoup plus important que le temps de montée, supposons $10 \mu\text{s}$, seul le front d'attaque joue un rôle dans la tension entre spires. Par conséquent, il est nécessaire que la tension d'essai entre crêtes provenant d'une tension de choc conventionnelle représente donc deux fois une tension de choc rectangulaire.

	a	b	c	d
Type d'impulsion	Impulsion rectangulaire unipolaire dont le temps de montée est de $0,3\ \mu\text{s}$ aussi bien sur le front d'attaque que sur le front de descente	Impulsion unipolaire dont le temps de descente est beaucoup plus important que le temps de montée	Impulsion bipolaire dont le temps de descente est beaucoup plus important que le temps de montée	Tension phase-terre d'une machine tournante alimentée par convertisseur
Tension d'essai (Phase/terre)				
Tension entre spires				

IEC 0573/14

IEC 0573/14

Figure B.4 – Formes d'onde de la tension d'essai de choc et niveaux permettant d'appliquer la même tension entre crêtes de $2aU_j$ à l'isolation entre spires (représentation schématique)

Les Tableaux B.3 et B.4 donnent des exemples de tensions de fonctionnement entre crêtes maximales. Les tensions d'essai à utiliser sont obtenues en multipliant ces valeurs par le facteur d'augmentation applicable indiqué au Tableau B.2. Les colonnes 3 et 4 concernent l'isolation entre phases et phase-terre.

Tableau B.3 – Tensions de fonctionnement entre crêtes maximales liées à U_{dc} pour un convertisseur à deux niveaux selon les catégories de contraintes du Tableau 4

Facteur de dépassement U_p/U_{dc}	Dépassement U_b/U_{dc}	Tensions de fonctionnement entre crêtes maximales en unités de U_{dc}	
		Entre phases (Formule 1)	Phase-terre (Formule 2)
1,1	0,1	2,2	1,5
1,5	0,5	3,0	2,1
2,0	1,0	4,0	2,8
2,5	1,5	5,0	3,5

L'Article B.6 donne des exemples destinés à calculer les niveaux d'essai pour l'isolation entre spires. Comme décrit ci-dessus, ils sont liés à deux formes différentes de générateur d'impulsions.

B.5 Exemples de tensions de fonctionnement entre crêtes maximales

Les tensions de fonctionnement entre phases et phase-terre peuvent être calculées à partir des formules de l'Article 4 dont il résulte les valeurs du Tableau B.3. Le Tableau B.4 donne des exemples pour un enroulement assigné de 500 V efficaces, alimenté par un convertisseur à deux niveaux. Les tensions de fonctionnement maximales sont calculées en supposant qu' U_{dc} est de 675 V pour un tel système (voir Annexe A).

Par exemple, pour une catégorie de contrainte "modérée", les tensions de fonctionnement entre crêtes maximales qui figurent au Tableau B.4 sont calculées en utilisant les deux formules suivantes.

Tension de fonctionnement maximale entre phases =

$$\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times U_{\text{ligne}} \times 3,0 = 675 \times 3,0 = 2\,025 \text{ V (crête à crête)}$$

Tension de fonctionnement phase-terre maximale = $0,7 \times 2\,025 = 1\,418 \text{ V (crête à crête)}$

Un facteur supplémentaire à prendre en considération est que la tension de ligne en service peut varier de $\pm 10\%$. Pour que cela soit possible, les tensions de fonctionnement (à partir desquelles sont déduites les tensions d'essai) sont augmentées de 10 % supplémentaires, de sorte que dans l'exemple ci-dessus, les tensions de fonctionnement sont finalement de 2 228 V et de 1 560 V. Ce facteur est intégré aux valeurs présentées dans le Tableau B.4.

Tableau B.4 – Exemples de tension de fonctionnement entre crêtes maximale pour un enroulement assigné de 500 V efficaces, alimenté par un convertisseur à deux niveaux, selon les catégories de contraintes données au Tableau 4.

Catégorie de contrainte	Exemples de tension de fonctionnement entre crêtes maximale	
	Entre phases V	Phase-terre V
A (Faible)	1 634	1 144
B (Modérée)	2 228	1 560
C (Sévère)	2 970	2 080
D (Extrême)	3 713	2 600

B.6 Calcul des tensions d'essai

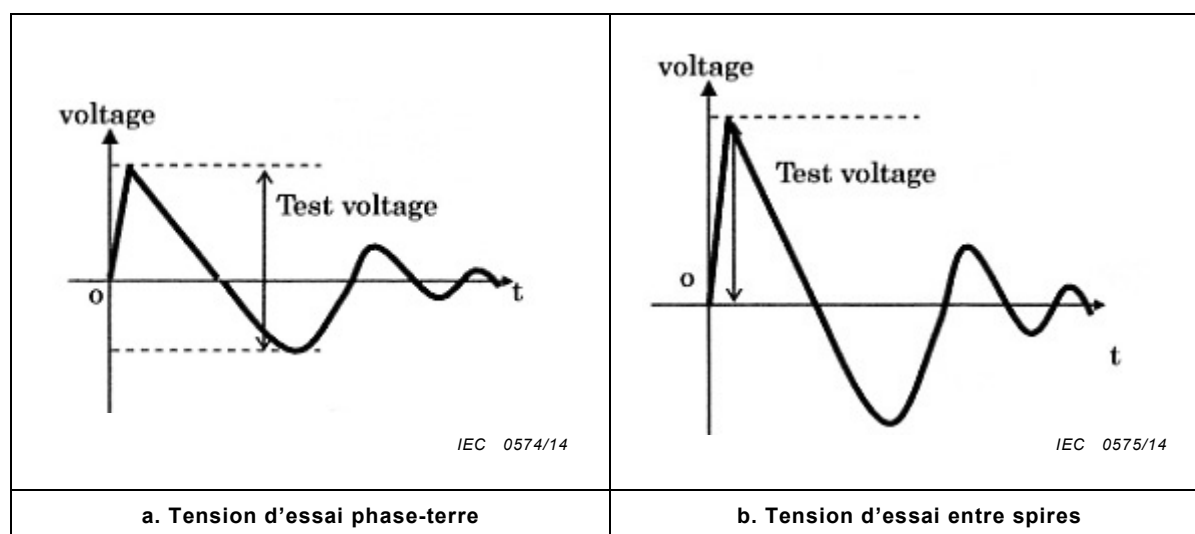
À titre d'exemple, les tensions entre crêtes pour une isolation entre phases et phase-terre dans une machine tournante assignée de 500 V et alimentée par un convertisseur à deux niveaux sont égales aux tensions de fonctionnement maximales mentionnées au Tableau B.4, multipliées par le facteur d'augmentation total approprié, mentionné au Tableau B.2. Ceci s'applique que la tension d'essai soit une onde sinusoïdale ou une impulsion. Il est généralement prévu que le facteur d'augmentation total soit égal à 1,25. Les tensions résultantes pour l'exemple présenté dans le Tableau B.4 sont données dans le Tableau B.5.

Tableau B.5 – Exemples de tension d'essai entre crêtes maximale pour un enroulement assigné de 500 V, alimenté par un convertisseur à deux niveaux, selon les catégories de contrainte données au Tableau 4 et avec un facteur EF de 1,25

Catégorie de contrainte ou classe d'isolation de la tension de choc (IVIC)	Exemples de tension d'essai entre crêtes maximale	
	Entre phases $V_{pk/pk}$	Phase-terre $V_{pk/pk}$
A (Faible)	2 043	1 430
B (Modéré)	2 785	1 950
C (Sévère)	3 123	2 600
D (Extrême)	4 641	3 250

Les niveaux de tension lors d'essais de qualification et de type pour une isolation entre spires dépendent de la forme d'onde du générateur d'essai et du type d'enroulement. Dans le cas d'un enroulement complet, une tension de choc est utilisée pour l'essai d'isolation entre spires et elle est appliquée entre la phase et la terre. Seule la partie à front raide de la tension de choc est effective comme tension d'essai d'isolation entre spires. Deux essais sont possibles.

- Pour une tension de choc unipolaire de 0,3 μ s au niveau des fronts d'attaque et arrière, un niveau égal à $0,5 \times$ tension d'essai phase/terre doit être utilisé.
- Pour une tension de choc unipolaire ayant un temps de montée de 0,3 μ s au niveau du front d'attaque, mais avec un temps de descente long ($> 10 \mu$ s), un niveau égal à la tension d'essai phase/terre doit être utilisé.



Légende

Anglais	Français
Voltage	Tension
Test voltage	Tension d'essai

Figure B.5 – Tensions d'essai pour des essais de choc phase-terre et entre spires en utilisant une impulsion unipolaire

Le Tableau B.6 donne des indications pour soumettre à l'essai l'isolation entre spires dans le cas d'enroulements spéciaux ou de paires torsadées (voir Tableau 5). On distingue trois situations. Quand aucune information n'est disponible, il doit être supposé que le saut de tension total pour cette bobine peut se former dans l'isolation. Si le temps de montée d'impulsion de la tension aux bornes de la machine est connu, il convient de supposer qu'on se trouve dans le cas le plus défavorable de répartition de la tension (voir Figure 7). Quand la répartition de la tension est connue, les valeurs réelles peuvent être utilisées. Pour des paires torsadées et des enroulements spéciaux, les tensions d'essai à utiliser peuvent être sinusoïdales quand elles ont les mêmes valeurs entre crêtes. Pour les autres essais, une tension de choc dont le temps de montée est de $0,3 \mu\text{s} \pm 0,2 \mu\text{s}$ doit être utilisée.

Tableau B.6 – Niveaux d'essai de DP entre spires pour des enroulements spéciaux et des paires torsadées

Informations disponibles	Tension d'essai
Aucune	Saut de tension (voir Formule 3) $\times$ EF
Temps de montée de l'impulsion	Saut de tension $\times$ rapport donné à la Figure 7 pour le temps de montée de l'impulsion approprié $\times$ EF
Répartition de la tension dans les enroulements et temps de montée de l'impulsion	Valeurs réelles $\times$ EF

Annexe C (normative)

Déduction des tensions admissibles en service

C.1 Classe d'isolation de la tension de choc (IVIC) de la machine

Il est admis que, lorsqu'une machine tournante est tenue d'être alimentée par un convertisseur, les constructeurs et les clients ont besoin que la documentation et la plaque signalétique mentionnent des caractéristiques assignées supplémentaires pour le système d'isolation de la machine; ces caractéristiques définissent les limites des qualités de fonctionnement lorsque la machine est alimentée par convertisseur (classe d'isolation de la tension de choc). La procédure consiste à utiliser les lettres IVIC X, où X est la lettre de la classe de choc qui figure au Tableau C.1 et représente la catégorie de contrainte pour laquelle le système d'isolation a été qualifié selon l'Article 10.

Si, par exemple, la machine a une caractéristique assignée pour la fréquence industrielle de 500 V (tension assignée) et que son système d'isolation est qualifié pour une catégorie de contrainte de choc "modérée", la plaque signalétique indique $U_N = 500$ V et IVIC B. Cela permet aux utilisateurs d'une machine alimentée par convertisseur de vérifier sur site, en mesurant simplement les tensions en service, si la machine fonctionne de façon fiable dans ses limites de qualification. La contrainte de tension d'isolation entre spires ne peut pas être mesurée en service.

Les tensions maximales admissibles assignées aux classes d'isolation de la tension de choc qui figurent au Tableau C.1 ont été calculées en utilisant les formules 1 et 2 de l'Article 4, ainsi que les facteurs de dépassement des catégories de contrainte qui figurent au Tableau 4. Elles sont indiquées en unités de U_N (c'est-à-dire les tensions du Tableau B.5 divisées par 500) pour qu'elles soient indépendantes des différentes tensions assignées de la machine. Alors que ces limites de tension ont été déduites des tensions de fonctionnement possibles en service, elles proposent des classes arbitraires par nature qui sont corroborées par le processus de qualification que décrit la présente norme.

Tableau C.1 – Tension de fonctionnement maximale admissible aux bornes de la machine en unités de U_N

Classe d'isolation de choc (A-D)	Tensions de fonctionnement entre crêtes maximales admissibles en unités de U_N	
	Entre phases	Phase-terre
A (Faible)	3,3	2,3
B (Modérée)	4,5	3,1
C (Sévère)	5,9	4,2
D (Extrême)	7,4	5,2

C.2 Classe d'isolation de la tension de choc attribuée dans des conceptions spéciales

Un constructeur peut souhaiter concevoir et qualifier les systèmes d'isolation entre phases et phase-terre d'une machine tournante pour une combinaison de classes d'isolation de la tension de choc qui ne figure pas au Tableau C.1. Dans ce cas, les tensions d'essai sont déterminées selon les procédures que décrit la présente norme, et la documentation et la plaque signalétique sont renseignées de la manière suivante. Une classe différente d'isolation de la tension de choc peut être attribuée à chaque système d'isolation entre phases et phase-terre. Une classe différente d'isolation de la tension de choc peut être attribuée à l'isolation

entre spires, mais seulement quand elle est qualifiée en utilisant des conducteurs parallèles (voir 10.4.5). Les tensions entre spires maximales admissibles pour les classes A à D – selon la Figure 7 – sont ici définies à 70 % de la tension liée phase-terre de la même classe. Si, par exemple, les systèmes d'isolation entre phases, phase-terre et entre spires ont été qualifiés pour des catégories de contrainte C, D et C respectivement, la plaque signalétique est marquée IVIC C/D/C.

Si ces valeurs de classe pour la tension maximale admissible ne sont pas appropriées à une conception de machine à usage spécial ou si le constructeur souhaite concevoir et qualifier les systèmes d'isolation en utilisant un temps de montée différent de $0,3 \mu\text{s}$, la machine peut être marquée IVIC S. Le temps de montée utilisé et les valeurs de tension pour ce qui est de U_N doivent être donnés sous forme d'informations supplémentaires dans la documentation du produit.

Bibliographie

- [1] Kaufhold, M., Börner, G. & Eberhardt, M., “Endurance of the winding insulation applying frequency converters”, 8th *International Symposium on High Voltage Engineering*, Yokohama, Japan, 1993, paper 64.02
 - [2] Schemmel, F., Bauer, K.. & Kaufhold, M., “Reliability and statistical lifetime prognosis of Motor Winding Insulation in Low Voltage Power Drive Systems”, *IEEE Electrical Insulation Magazine* 2009, Vo. 25, No. 4, pp. 6-13
 - [3] Kaufhold, M, Asinger, H, Berth, M, Speck, J & Eberhardt, M., “Electrical stress and failure mechanism of the winding insulation in PWM-Inverter-fed low voltage induction motors”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 2, No.2, April 2000, pp. 396-402
 - [4] G.C. Stone, S. Campbell & S. Tetreault, " Converter Duty Motors: Which Motors are at Risk", *IEEE Industry Applications Magazine*, Sept 2000, pp. 17-22
 - [5] Cavallini, A, Montanari, G. C. & Tozzi, M, “Electrical aging of inverter-fed wire-wound induction motors: from quality control to end of life”, *ISEI*, 2010
 - [6] Stone, G.C. & Culbert, I., “Partial discharge testing of random wound stators during short rise time voltage surges”, *IEEE Electrical Insulation Conference*, Montreal 2009
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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