

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 60034-18-41

Première édition
First edition
2006-10

Machines électriques tournantes –

Partie 18-41:

**Qualification et essais de type des systèmes
d'isolation de type I utilisés dans des machines
alimentées par convertisseurs de tension**

Rotating electrical machines –

Part 18-41:

**Qualification and type tests for Type I electrical
insulation systems used in rotating electrical
machines fed from voltage converters**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TS 60034-18-41:2006

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 60034-18-41

Première édition
First edition
2006-10

Machines électriques tournantes –

Partie 18-41:

**Qualification et essais de type des systèmes
d'isolation de type I utilisés dans des machines
alimentées par convertisseurs de tension**

Rotating electrical machines –

Part 18-41:

**Qualification and type tests for Type I electrical
insulation systems used in rotating electrical
machines fed from voltage converters**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives.....	14
3 Termes et définitions	16
4 Effets associés à l'utilisation de convertisseurs	20
5 Contraintes électriques pour les systèmes d'isolation des bobinages de machines.....	28
5.1 Généralités.....	28
5.2 Tension contraignant l'isolation entre phases	30
5.3 Tension contraignant l'isolation par rapport à la terre	30
5.4 Tension contraignant l'isolation entre spires	30
5.5 Mécanismes de détérioration des isolants	32
6 Les différents types d'isolation des machines	34
7 Catégories de contraintes pour des isolations de type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseur.....	34
8 Tests de qualification et test de type I pour les systèmes d'isolation.....	38
8.1 Généralités.....	38
8.2 Tests de qualification	38
8.3 Essai de type	38
9 Equipements d'essais.....	38
9.1 Mesure des DP aux fréquences industrielles	38
9.2 Mesure des DP durant les impulsions de tension.....	38
9.3 Générateurs de tensions impulsionnelles	40
9.4 Sensibilité	40
9.5 Mesure des PDIV et des RPDIV	40
10 Qualification des systèmes d'isolation de type I.....	42
10.1 Généralités.....	42
10.2 Approche.....	42
10.3 Préparation des objets sous test	44
10.4 Méthode de qualification.....	46
10.5 Critère de qualification: test passé avec succès	48
11 Essais de type pour des systèmes d'isolation de type I.....	48
11.1 Généralités.....	48
11.2 Méthode utilisée pour l'essai de type.....	48
11.3 Critère de réussite pour l'essai de type.....	50
12 Analyse, rapport et classement.....	50
Annexe A (informative) Tensions aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur	52
Annexe B (normative) Calcul des niveaux de tension pour des systèmes d'isolation de type I	60
Bibliographie.....	68

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	15
2 Normative references	15
3 Terms and definitions	17
4 Effects arising from converter operation	21
5 Electrical stresses in the insulation system of machine windings	29
5.1 General.....	29
5.2 Voltages stressing the phase/phase insulation	31
5.3 Voltages stressing the phase/ground insulation	31
5.4 Voltages stressing the turn and strand insulation.....	31
5.5 Mechanisms of insulation degradation	33
6 Types of machine insulation	35
7 Stress categories for Type I insulation systems used in converter fed machines.....	35
8 Qualification and type tests for Type I insulation systems.....	39
8.1 Overview	39
8.2 Qualification test	39
8.3 Type test.....	39
9 Test equipment.....	39
9.1 PD measurement at power frequency.....	39
9.2 PD measurement during voltage impulses	39
9.3 Voltage impulse generators	41
9.4 Sensitivity	41
9.5 PDIV and RPDIV measurement.....	41
10 Qualification of Type I insulation systems	43
10.1 General.....	43
10.2 Approach.....	43
10.3 Preparation of test objects.....	45
10.4 Qualification test methods	47
10.5 Qualification test pass criteria	49
11 Type test for Type I insulation systems.....	49
11.1 General.....	49
11.2 Type test method.....	49
11.3 Type test pass criteria	51
12 Analysis, reporting and classification	51
Annex A (informative) Voltages at the terminals of the converter fed machine.....	53
Annex B (normative) Derivation of test voltage values for Type I insulation systems	61
Bibliography.....	69

Figure 1 – Paramètres de l'impulsion de tension	20
Figure 2 – Tension sinusoïdale c.a.	24
Figure 3 – Tension aux bornes d'une machine alimentée par un onduleur 2 niveaux	24
Figure 4 – Tension aux bornes d'une machine alimentée par un onduleur 3 niveaux.....	24
Figure 5 – Image type à l'oscilloscope d'une impulsion de tension à temps de montée rapide mesurée entre phase et terre aux bornes de la machine (1 μ s/div).....	24
Figure 6 – Augmentation de la tension aux bornes du moteur en fonction de la longueur du câble pour différents temps de montée	28
Figure 7 – Exemple de conception des bobinages aléatoires	30
Figure 8 – Exemple de conception des bobinages formés	30
Figure 9 – Valeurs maximales des tensions appliquées à l'isolation entre spires dans différents types de stator bobinés mécaniquement en fonction du temps de montée de l'impulsion	32
Figure A.1 – Schéma simplifié de l'association convertisseur/machine.....	52
Figure A.2 – Enveloppe des tensions d'impulsions V_{pk} autorisées aux bornes d'une machine en fonction de la durée de l'impulsion t_r	58
Figure B.1 – Comparaison des tensions entre phases et phase/terre pour un convertisseur 2 niveaux; représentation schématique, non à l'échelle, des tensions entre phases et phase/terre	62
Tableau 1 – Limites générales des caractéristiques des tensions aux bornes de machines alimentées par convertisseurs.....	22
Tableau 2 – Définitions des abréviations.....	22
Tableau 3 – Influence des caractéristiques de la tension aux bornes de la machine sur les composants de systèmes d'isolation de type I	36
Tableau 4 – Catégories de contraintes générées par un convertisseur 2 niveaux pour des systèmes d'isolation de type I	36
Tableau 5 – Formes d'ondes autorisées pour tester les composants des systèmes d'isolation	42
Tableau A.1 – Exemples de tensions maximales contraignant l'isolation de l'enroulement statorique à différents endroits d'une machine couplée en étoile de façon aléatoire sous diverses conditions d'alimentation (1 étage, convertisseur à 2 niveaux)	54
Tableau A.2 – Exemples de valeur de tension crête.....	56
Tableau B.1 – Catégories de contraintes	60
Tableau B.2 – Valeurs crête à crête liées à U_{dc} pour un convertisseur 2 niveaux (multipliées par un facteur de sécurité de 1,3)	64
Tableau B.3 – PDIV des isolations entre spires pour des bobinages spéciaux ou des paires torsadées	66
Tableau B.4 – Exemple de tensions d'essai pour une machine 480 V_{eff} alimentée par un convertisseur 2 niveaux en supposant un temps de montée de l'impulsion de 0,3 μ s et un facteur de 0,7 de la Figure 9	66

Figure 1 – Voltage impulse waveshape parameters	21
Figure 2 – Sine wave a.c. voltage	25
Figure 3 – Voltage at the terminals of a motor fed by a 2-level converter	25
Figure 4 – Voltage at the terminals of a motor fed by a 3-level converter	25
Figure 5 – Typical oscilloscope image of a fast rise time impulse as measured phase to ground at the motor terminals (1 μ s/div).....	25
Figure 6 – The voltage enhancement at the motor terminals as a function of cable length for various impulse rise times	29
Figure 7 – Example of a random wound design	31
Figure 8 – Example of a form wound design.....	31
Figure 9 – Worst case voltage stressing the turn/turn insulation in a variety of random wound stators as a function of the impulse rise time	33
Figure A.1 – Circuit diagram for a converter/motor system.....	53
Figure A.2 – Limiting curves of impulse voltage V_{pk} , allowed between two motor phase terminals, as a function of the impulse rise time t_r	59
Figure B.1 – Comparison of phase/phase and phase/ground voltages (2-level converter) (schematic representation not scaled for phase/phase and phase/ground voltages).....	63
Table 1 – Common ranges of characteristics of the terminal voltages of converter fed machines	23
Table 2 – Definition of abbreviations	23
Table 3 – Influence of features of the machine terminal voltage on components of Type I insulation systems.....	37
Table 4 – Stress categories for Type I insulation systems based on a 2-level converter	37
Table 5 – Allowable voltage waveforms for testing system components	43
Table A.1 – Examples of maximum voltages stressing the insulation of the stator winding at different locations for a random wound star connected machine under different supply conditions (1 stage, 2 level converter).....	55
Table A.2 – Examples of maximum peak voltages.....	57
Table B.1 – Summary of stress categories	61
Table B.2 – Peak/peak test levels related to U_{dc} for 2-level converter ($\times 1,3$ safety factor)	65
Table B.3 – Turn/turn PDIV test levels for special windings and twisted pairs	67
Table B.4 – Example of type test voltages for a 480 V_{rms} rated stator winding fed from a 2-level inverter, assuming a 0,3 μ s impulse rise time and a 0,7 worst case factor from Figure 9	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

**Partie 18-41: Qualification et essais de type des systèmes d'isolation
de type I utilisés dans des machines alimentées
par convertisseurs de tension**

AVANT-PROPOS

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

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

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

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

La CEI 60034-18-41, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18-41: Qualification and type tests for Type I electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters

FOREWORD

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

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

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

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

IEC 60034-18-41, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
2/1368/DTS	2/1388A/RVC

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-41:2006

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

Enquiry draft	Report on voting
2/1368/DTS	2/1388A/RVC

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

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

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

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

INTRODUCTION

L'approbation des systèmes d'isolation destinés à des machines alimentées par onduleurs de tension est décrite dans deux spécifications techniques.

CEI/TS 60034-18-41 (la présente spécification technique)

Dans la présente spécification technique, les normes et définitions nécessaires sont données ainsi qu'une présentation des effets liés à l'utilisation de convertisseurs. Après avoir établi les bases techniques nécessaires à la procédure d'évaluation, l'approche utilisée est décrite. Les systèmes sont donc séparés en deux types suivant qu'ils **sont** susceptibles d'endurer des décharges partielles pendant leur fonctionnement (type II) ou qu'ils **ne sont pas** susceptibles d'endurer des décharges partielles pendant leur fonctionnement (type I).

Les systèmes de type I font l'objet de la présente spécification. Ces isolations de type I sont en général utilisées dans des machines dont la tension d'alimentation est inférieure à 700 V et dont le bobinage est généralement «en vrac». Les procédures décrites ci-après proposent:

- la qualification du système d'isolation,
- les essais de type de la machine complète.

Avant l'essai, il faut que le fabricant décide de la sévérité des contraintes que le système aura à endurer. Cette sévérité est liée au niveau de surtension et à la valeur du temps de montée des impulsions de tension aux bornes de la machine. Il est important pour l'intégrateur du système de donner a priori les conditions extrêmes de fonctionnement (surtension la plus élevée et temps de montée le plus faible) que le bobinage va devoir subir. Le fabricant de la machine choisit donc dans des tableaux présentant les gammes entières de variations possibles et séparés en diverses bandes, les niveaux possibles de ces deux paramètres indépendants. Les tests sont toujours réalisés pour les valeurs extrêmes de chaque bande.

Lors des essais de qualification, les systèmes d'isolation sont utilisés dans différents types d'échantillons. Ils sont soumis à des tests tels que décrits dans la CEI 60034-18-21 ou la CEI 60034-18-31 auxquels s'ajoutent des tests à fréquence élevée et des mesures de seuils d'apparition de décharges partielles. Pour ces dernières, il est indispensable d'utiliser un équipement permettant la génération d'impulsion, comme indiqué dans la CEI 61934. Si après ces essais le système est exempt de décharges partielles pour les conditions spécifiées, le système d'isolation est qualifié pour les niveaux de sévérité sélectionnés.

Les essais de type sont réalisés sur le stator entier afin de démontrer qu'il est exempt de décharges partielles pour les niveaux de sévérité sélectionnés par le fabricant.

CEI/TS 60034-18-42 (en préparation)

Dans la présente spécification, les essais de qualification et d'acceptation de machines utilisant des systèmes d'isolation de type II seront décrits. La procédure de qualification est totalement différente. Elle implique la destruction d'échantillons sous conditions de vieillissement accélérées. Tout comme pour les systèmes d'isolation de type I, il convient que l'intégrateur du système informe le fabricant au sujet de la tension qui apparaîtra aux bornes de la machine en fonctionnement. Le fabricant de la machine devra donc choisir la sévérité des contraintes sous lesquelles il veut qualifier son isolation. Cette sévérité est fondée sur le taux de répétition, la valeur de la surtension et le temps de montée des impulsions.

Si le système d'isolation peut prouver une tenue sous contrainte suffisante, il est qualifié. Les essais d'acceptation sont réalisés sur des bobines utilisant ces systèmes d'isolation et subissant des surtensions.

INTRODUCTION

The approval of insulation systems for use in machines driven from voltage converters is set out in two Technical Specifications.

IEC TS 60034-18-41 (this technical specification)

In this technical specification, the necessary normative references and definitions are given together with a review of the effects arising from converter operation. Having established the technical foundation for the evaluation procedure, the conceptual approach is then described. This is to divide the systems into those which are **not** expected to experience partial discharge activity in their service lives (Type I) and those which **are** expected to withstand partial discharge activity throughout their service lives (Type II).

The Type I systems are dealt with in this specification. They are generally used in rotating machines rated at less than 700 V and tend to have random wound stators. The procedures described here are directed at

- qualification of the insulation system;
- type testing of the complete stators of service machines.

Before undertaking any testing, the manufacturer must 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. It is important for the drive system integrator to characterise what the worst-case overshoot voltage and the shortest voltage rise time the winding will experience. The motor designer then makes choices from a table in which the complete ranges of expected values for these two independent parameters are divided into bands. Testing is performed at the extreme value of each band.

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 is necessary to use impulse test equipment, as described in IEC 61934. If at the end of the sequence of testing, the test object is partial discharge free under the specified test conditions, the insulation system is qualified for the severity bands that have been selected.

The type tests are performed on complete stators to demonstrate that they are partial discharge free under impulse voltage conditions for the bands of severity that the manufacturer has chosen.

IEC TS 60034-18-42 (in preparation)

In this specification, the tests for qualification and acceptance of insulation systems chosen for Type II rotating machines will be described. The qualification procedure is completely different and involves destructive ageing of insulated test objects under accelerated conditions. As for Type I insulation systems, the drive system integrator should inform the machine manufacturer what voltage will appear at the machine terminal 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 repetition rate, the size of the voltage overshoot and the impulse rise time.

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 an over-voltage test.

Les systèmes d'isolation susceptibles d'être utilisés dans des machines destinées à être alimentées par onduleur et les onduleurs eux mêmes évoluent rapidement. Les fabricants de machines tournantes ont des recherches en cours sur ces sujets. Il est donc espéré que l'ensemble de ces informations puisse bénéficier à la présente spécification technique dans les prochaines années.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-41:2006

Withdrawn

The winding insulation systems intended to be used in converter fed machines, as well as the converter technology itself, are evolving rapidly. In addition, rotating machine manufacturers have on-going research into the best ways to test such insulation systems. It is expected therefore that there will be improvements in the technical specifications over the next few years.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-41:2006

Withdawn

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-41: Qualification et essais de type des systèmes d'isolation de type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseurs de tension

1 Domaine d'application

La présente spécification technique définit les critères de tests des systèmes d'isolation des bobinages statoriques et rotoriques alimentés par convertisseurs statiques. Elle s'applique aux bobinages statoriques et rotoriques des machines à courant alternatif monophasées ou multiphasées avec un système d'isolation pour le fonctionnement avec un convertisseur.

Les tests de qualification et d'acceptation réalisés sur des échantillons représentatifs ou sur la machine complète en vue de vérifier son adéquation à l'utilisation sous convertisseur sont présentés.

La présente spécification ne concerne pas:

- les machines tournantes qui utilisent un convertisseur seulement pour leur démarrage;
- les machines tournantes de tension nominale $\leq 300 \text{ V}_{\text{efficaces}}$;
- les équipements et dispositifs électriques pour la traction.

2 Références normatives

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

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

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

CEI 60034-18-31, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 31: Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*

CEI 60034-25, *Rotating electrical machines – Part 25: Guide for the design and performance of cage induction motors specifically designed for converter supply* (disponible en anglais seulement)

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

CEI 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

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

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18-41: Qualification and type tests for Type I electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters

1 Scope

This Technical Specification defines criteria for assessing the insulation system of stator/rotor windings which are subjected to pulse width modulation (PWM) drives. This Technical Specification applies to stator/rotor windings of single or polyphase AC machines with insulation systems for converter operation.

It describes qualification and type tests on representative samples or on complete machines which verify fitness for operation with voltage source converters.

This specification does not apply to

- rotating machines which are only started by converters;
- rotating electrical machines with rated voltage ≤ 300 V r.m.s.;
- electrical equipment and systems for traction.

2 Normative references

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

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

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

IEC 60034-18-31, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 31: Test procedures for form wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

IEC 60034-25, *Rotating electrical machines – Part 25: Guide for the design and performance of cage induction motors specifically designed for converter supply*

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

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

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

CEI 61800-2, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 2: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînement de puissance à fréquence variable en courant alternatif et basse tension*

CEI 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

décharges partielles

DP

décharge électrique qui court-circuite partiellement l'isolation entre conducteurs

NOTE Elles peuvent se produire à l'intérieur de l'isolant ou adjacentes à un conducteur.

3.2

seuil d'apparition des décharges partielles

PDIV

tension seuil à partir de laquelle les décharges sont initiées dans le dispositif expérimental choisi lorsque la tension est augmentée graduellement à partir d'un niveau pour lequel aucune décharge n'est susceptible de se produire

NOTE 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.

3.3

seuil d'extinction des décharges partielles

PDEV

tension seuil à partir de laquelle les décharges s'éteignent dans le dispositif expérimental choisi lorsque la tension est diminuée graduellement à partir d'un niveau pour lequel des décharges étaient détectées

NOTE 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.

3.4

seuil d'apparition de décharges répétitives

RPDIV

tension crête à crête minimale pour laquelle les décharges partielles apparaissent avec un taux de répétition d'une ou plus en moyenne pour deux impulsions de tension dans un dispositif expérimental dans lequel la tension peut être augmentée de manière graduelle sur l'objet sous test à partir d'une valeur nulle

3.5

impulsion unipolaire

une impulsion de tension dont la polarité est, soit positive, soit négative

NOTE Le terme impulsion est utilisé pour décrire la tension transitoire appliquée aux bornes de la machine et le terme pulsation est utilisé pour décrire le signal électrique associé aux décharges partielles.

3.6

impulsion bipolaire

une impulsion de tension dont la polarité change alternativement de positive à négative et vice versa

IEC 61800-2, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems*

IEC 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 conductors

NOTE It may occur inside the insulation or adjacent to a 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 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 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

repetitive partial discharge inception voltage

RPDIV

minimum peak to peak voltage at which partial discharges occur with a repetition rate of 1 or more PD pulses every two voltage impulses as a mean for a specified test time, in the test arrangement where the voltage applied to the test object is gradually increased from 0 V

3.5

unipolar impulse

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

NOTE The term impulse is used to describe the transient stressing voltage applied to the machine terminals and the term pulse is used to describe the partial discharge signal.

3.6

bipolar impulse

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

3.7

taux de répétition d'impulsion de tension

f

inverse du temps séparant deux impulsions successives de la même polarité, aussi bien en unipolaire qu'en bipolaire

3.8

temps de montée

t_r

Intervalle de temps séparant les valeurs à 10 % et 90 % (à partir de zéro) de la tension

3.9

temps de montée de l'impulsion

intervalle de temps séparant les valeurs à 0 % à 100 % (à partir de zéro) de l'impulsion

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

3.10

saut de tension

$U''_{pk/pk}$

modification instantanée de la tension aux bornes du moteur lorsqu'il est alimenté par un convertisseur

3.11

système d'isolation électrique

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

[CEI 62068-1, définition 3.11]

3.12

formette

un échantillon modèle pour le test et l'évaluation des systèmes d'isolation des bobinages rangés

3.13

motorette

un échantillon modèle pour le test et l'évaluation des systèmes d'isolation des bobinages aléatoires, entendons par là les bobinages réalisés mécaniquement

3.14

contrainte électrique

le champ électrique en V/mm

3.15

tension nominale

tension assignée, généralement par le constructeur pour des conditions spécifiées de fonctionnement de la machine

3.16

fréquence fondamentale

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

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

3.7**impulse voltage repetition rate** f

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

3.8**rise time** t_r

time for the voltage to rise from 10 % to 90 % of its final value

3.9**impulse rise time**

time for the voltage impulse to go from 0 % to 100 %

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

3.10**jump voltage** $U''_{pk/pk}$

instantaneous change in voltage at the terminals of the motor when fed from a converter

3.11**electrical insulation system**

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

[IEC 62068-1, definition 3.1]

3.12**formette**

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

3.13**motorette**

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

3.14**(electric) stress**

electric field in V/mm

3.15**rated voltage**

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

3.16**fundamental frequency**

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

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

3.17

durée de l'impulsion (ou largeur)

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

3.18

tension crête (impulsion)

U_p

valeur numérique maximale atteinte par la tension en unipolaire (exemple voir figure 1)

NOTE 1 Pour des impulsions bipolaires, il s'agit de la moitié de la tension crête à crête (voir Figure 3).

NOTE 2 La définition de la tension crête à crête est explicitée à l'Article 4.

3.19

tension permanente de l'impulsion

U_a

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

3.20

surtension

U_b

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

3.21

fréquence de la surtension

inverse de 4 fois le temps de montée de l'impulsion

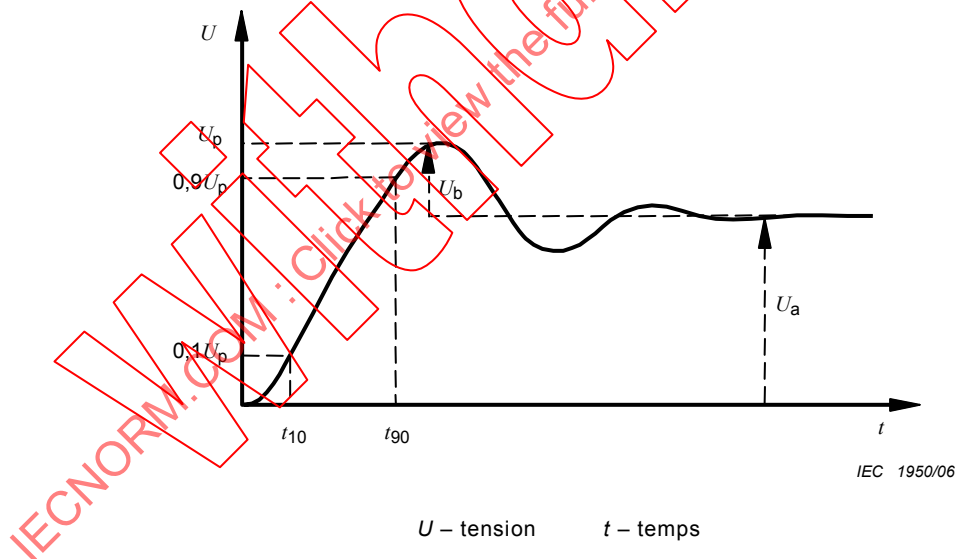


Figure 1 – Paramètres de l'impulsion de tension

4 Effets associés à l'utilisation de convertisseurs

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

- a) la tension de ligne du convertisseur;
- b) l'architecture et le mode de contrôle du convertisseur;

3.17**impulse duration (or 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

3.18**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 For bi-polar voltage impulses, it is half the peak to peak voltage (see Figure 3)

NOTE 2 The definition of peak to peak voltage will be clarified in Clause 4.

3.19**steady state impulse voltage magnitude** U_a

final magnitude of the voltage impulse (see Figure 1)

3.20**voltage overshoot** U_b

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

3.21**overshoot frequency**

reciprocal of four times the impulse rise time

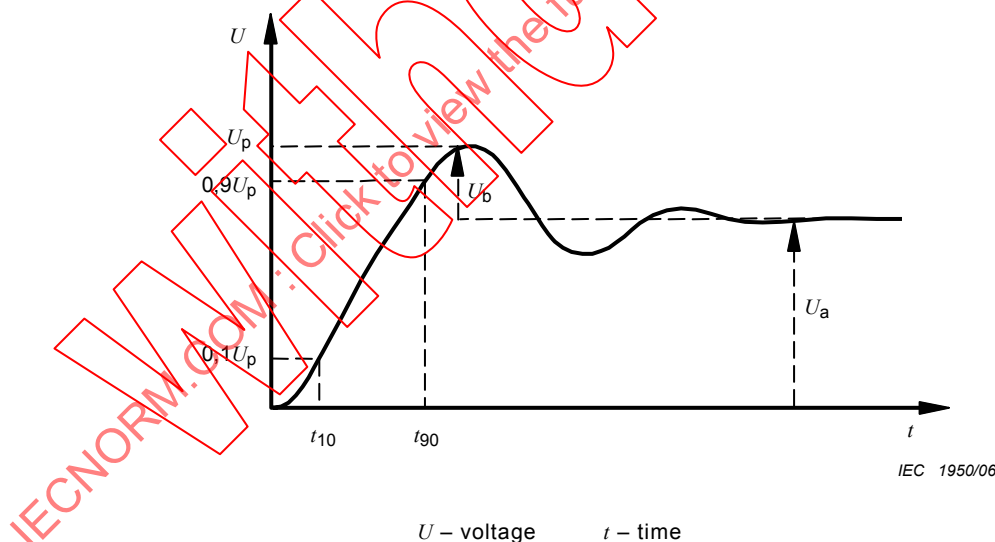


Figure 1 – Voltage impulse waveshape parameters

4 Effects arising from converter operation

Modern converter output voltage rise times may be in the 50 ns to 2000 ns range due to power semiconductor switching characteristics. The voltage appearing at the terminals of a converter driven machine depends upon several characteristics of the power drive system (see IEC 61800-2), such as

- a) operating line voltage of the converter;
- b) architecture and control regime of the converter;

- c) la présence et le type de filtres entre le moteur et le convertisseur;
- d) la longueur du câble;
- e) la conception du bobinage de la machine.

Afin d'appliquer la présente spécification technique à la qualification et au test des systèmes d'isolation du bobinage, il est nécessaire de spécifier les principaux paramètres de la tension aux bornes de la machine (Article 7).

L'amplitude et le front de montée de la tension aux bornes de la machine dépendent du système de mise à la terre, du type et de la longueur du câble de liaison, de l'impédance de choc de la machine et de la présence de filtres qui peuvent éventuellement augmenter le temps de montée de l'impulsion. Des valeurs classiques et caractéristiques des impulsions de tension aux bornes de la machine sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Limites générales des caractéristiques des tensions aux bornes de machines alimentées par convertisseurs

Caractéristiques	Gamme de valeurs (fonction des caractéristiques assignées et des conditions de service du système)
Amplitude des tensions	0,5 kV – 15 kV
Temps de montée	0,05 μ s – 2,0 μ s
Taux de répétition	100 Hz – 20 kHz
Durée de l'impulsion	10 μ s – 10 ms
Forme	Rectangulaire
Polarité	Unipolaire ou bipolaire
Fréquence du fondamental	10 Hz – 1 kHz
Durée moyenne entre impulsions	$\geq 0,6 \mu$ s

Pour les besoins de la présente spécification, les abréviations du Tableau 2 sont utilisées.

Tableau 2 – Définitions des abréviations

Abréviation	Paramètre	Unité	Type d'alimentation
U_{ligne}	Tension entre phases (nominale)	Volts (valeur efficace)	Réseau
U_{phase}	Tension phase neutre (terre)	Volts (valeur efficace)	Réseau
$U_{\text{max}} = \sqrt{2}U_{\text{phase}}$	Tension maximale phase/neutre	Volts	Convertisseur
$U_{\text{pk/pk}}$	Tension crête à crête	Volts	Convertisseur
U_{dc}	Tension de bus continu	Volts	Convertisseur

Les convertisseurs génèrent des surtensions de manière répétitive. La Figure 2 montre la forme conventionnelle de la tension appliquée aux bornes d'une machine (échelle verticale en unités d' U_{max} (U_{dc}/k)). La Figure 3 montre les variations de la tension entre phases mesurées aux bornes d'une machine quand un onduleur 2 niveaux l'alimente. L'axe vertical est en unités d' U_{dc} . Cette figure montre aussi la différence entre la fréquence fondamentale de l'impulsion de tension crête à crête, la fréquence de la tension de l'impulsion crête à crête et le créneau de tension (qui correspond aux variations les plus faibles de la tension dans le convertisseur).

- c) filters between the converter and motor;
- d) length of cable between them;
- e) design of the machine winding.

In order to apply this technical specification to the qualification and testing of the insulation system of a winding, it is necessary to specify the required parameters of the voltage appearing at the machine terminals (see Clause 7).

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

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

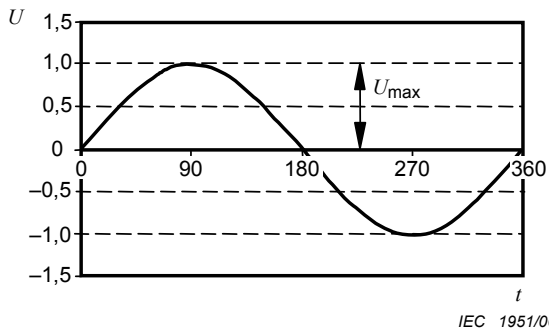
Characteristics	Range of values (depending on ratings, characteristics and service conditions of the drive system)
Peak voltage	0,5 kV – 15 kV
Rise time	0,05 μ s – 2,0 μ s
Repetition rate of impulses	100 Hz – 20 kHz
Impulse duration	10 μ s – 10 ms
Shape	Rectangular
Polarity	Unipolar or bipolar
Fundamental frequency	10 Hz – 1 kHz
Mean time between impulses	$\geq 0,6 \mu$ s

For the purposes of this specification, the abbreviations in Table 2 are used.

Table 2 – Definition of abbreviations

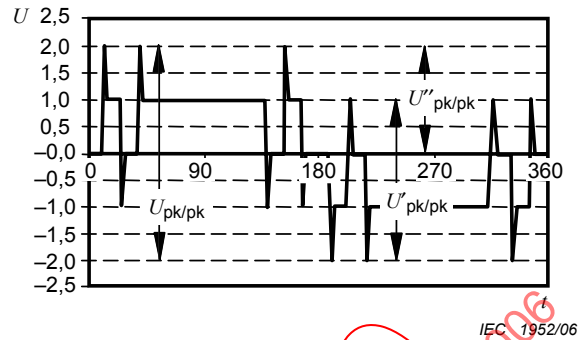
Abbreviation	Parameter	Units	Type of feed
U_{line}	Phase to phase (rated) voltage	r.m.s. V	Line
U_{phase}	Phase to neutral (ground) voltage	r.m.s. V	Line
$U_{max} = \sqrt{2}U_{phase}$	Maximum phase/neutral (ground) voltage	V	Converter
$U_{pk/pk}$	Peak to peak voltage	V	Converter
U_{dc}	DC bus voltage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

Power drive systems may generate repetitive voltage overshoots. Figure 2 shows the power frequency voltage applied to the terminals of a conventional machine, with a vertical scale in units of U_{max} (U_{dc}/k). Figure 3 shows the variation of phase to phase voltage measured at the terminals when fed from a 2-level converter with a vertical scale in units of U_{dc} . The figure also shows the difference between the fundamental frequency peak/peak impulse voltage, the impulse frequency peak/peak impulse voltage and the jump voltage (which is the smallest voltage change in the converter signal).



Légende
 U tension
 t temps

Figure 2 – Tension sinusoïdale c.a.



Légende

$U_{pk/pk}$ impulsion de tension crête à crête au fondamental
 $U'_{pk/pk}$ impulsion de tension crête à crête
 $U''_{pk/pk}$ créneau de tension

Figure 3 – Tension aux bornes d'une machine alimentée par un onduleur 2 niveaux

La Figure 4 montre la tension aux bornes du moteur quand celui-ci est alimenté par un convertisseur 3 niveaux, les symboles étant les mêmes que ceux de la Figure 3. Les traces à l'oscilloscope de ces impulsions de tension mesurées dans une structure type d'association convertisseur machine sont données dans la Figure 5.

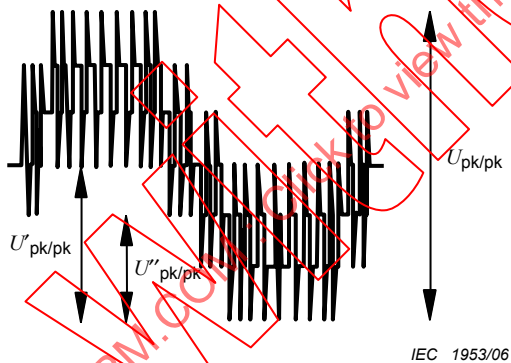
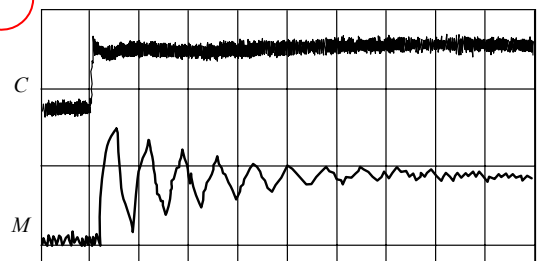


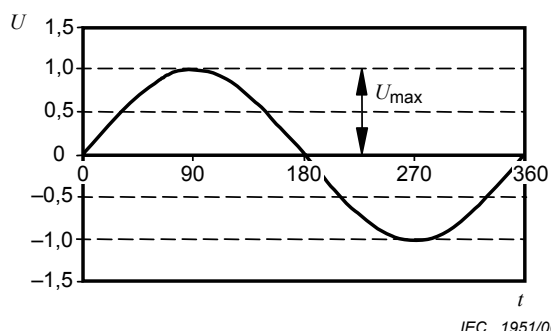
Figure 4 – Tension aux bornes d'une machine alimentée par un onduleur 3 niveaux



C – Tension entre phases au niveau du convertisseur
M – Tension entre phases au niveau de la machine

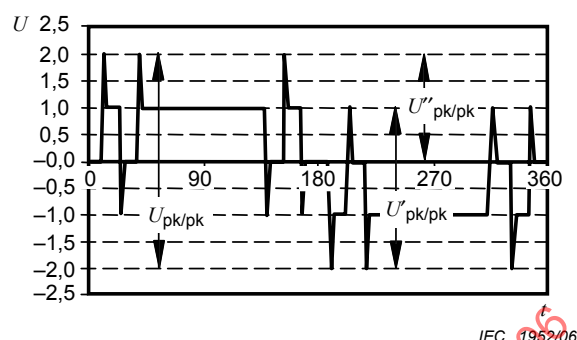
Figure 5 – Image type à l'oscilloscope d'une impulsion de tension à temps de montée rapide mesurée entre phase et terre aux bornes de la machine (1 μ s/div)

Dans le cas d'un convertisseur 2 niveaux ou autre convertisseur, en fonction du temps de montée de l'impulsion de tension, de la longueur du câble et de l'impédance du moteur, des surtensions peuvent être observées aux bornes de la machine (typiquement jusqu'à $2U_{dc}$ entre phases). Cette surtension est créée par réflexion de l'onde à l'interface entre le câble et la machine du fait de la désadaptation d'impédance. Ceci est parfaitement expliqué par la théorie des lignes et celle concernant la propagation des ondes.



Key
 U = voltage
 t = time

Figure 2 – Sine wave a.c. voltage



Key
 $U_{pk/pk}$ – fundamental frequency pk/pk impulse voltage
 $U''_{pk/pk}$ – impulse frequency pk/pk impulse voltage
 $U_{pk/pk}$ – jump voltage

Figure 3 – Voltage at the terminals of a motor fed by a 2-level converter

Figure 4 shows the voltage at the motor terminals when fed from a 3-level converter, with the symbols being the same as in Figure 3. Oscilloscope traces of voltage surges from a typical converter drive are given in Figure 5.

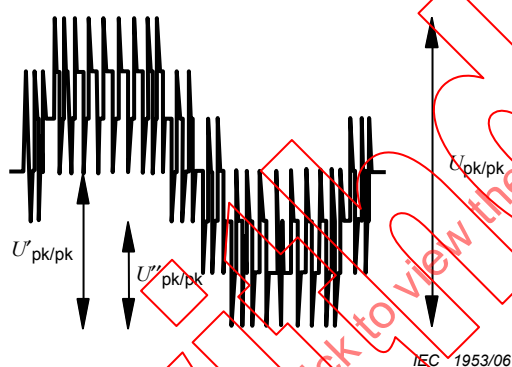
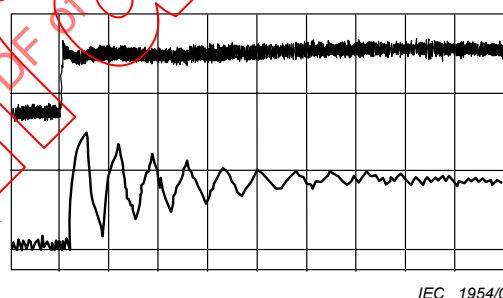


Figure 4 – Voltage at the terminals of a motor fed by a 3-level converter



C – Phase voltage at converter
 M – Phase voltage at machine

Figure 5 – Typical oscilloscope image of a fast rise time impulse as measured phase to ground at the motor terminals (1 μ s/div)

In the case of 2-level or other voltage converters, depending on the rise time of the voltage impulse at the converter output and on the cable length and motor impedance, the impulses generate voltage overshoots at the motor terminals (typically up to $2U_{dc}$ between phases). This voltage overshoot is created by reflected waves at the interface between cable and machine or converter terminals due to impedance mismatch. It is fully explained by transmission line and travelling wave theory.

Pour un convertisseur de niveaux "n", la tension entre phases peut être estimée comme suit:

$$\text{La valeur crête à crête de la tension du fondamental} = 2(U_{dc} + U_b) \quad (1)$$

$$\text{La valeur crête à crête de la tension impulsionnelle} = U_{dc}/(n - 1) + 2 U_b$$

La tension de phase (par rapport à la masse) est calculée comme suit:

$$\text{La valeur crête à crête de la tension du fondamental} = 0,7 \times 2 (U_{dc} + U_b) \quad (2)$$

$$\text{La valeur crête à crête de la tension du fondamental} = 0,7(U_{dc}/(n - 1) + 2 U_b)$$

$$\text{La valeur du créneau de tension est donnée par } 0,7(U_{dc}/(n - 1) + U_b) \quad (3)$$

La variation de cette impulsion de tension aux bornes de la première spire est donnée en Figure 9.

La valeur d' U_b dans ces formules est la valeur donnée dans la Figure 1 correspondant à la tension entre phases aux bornes de la machine. Les valeurs des tensions phase/masse estimées par ces formules peuvent être plus grandes ou plus faibles que celles observées en pratique, en fonction des techniques de mises à la terre, du type et du régime de contrôle du convertisseur, et d'autres facteurs. Le facteur 0,7 est introduit dans certaines des équations précédentes afin de prendre en compte les variations soudaines qui peuvent se produire au niveau de la différence de potentiel entre la masse et le point zéro en courant continu du convertisseur. La montée théorique est déterminée par capacité pour être de 1/3 ce qui donne un effet résiduel d'environ 0,7. Ces valeurs sont en bon accord avec les mesures réalisées sur des systèmes représentatifs.

Des exemples d'augmentation produits pour différents temps de montée et différentes longueurs de câbles dans le cas d'un convertisseur 2 niveaux sont donnés dans la Figure 6. Dans ce cas, l'augmentation de la tension pour un temps de montée de l'impulsion de 1000 ns est négligeable pour une longueur de câble inférieure à 15 m et n'est que de 1,2 quand cette longueur dépasse 50 m.

Des tensions supérieures à $2 U_{dc}$ peuvent être obtenues aux bornes de la machine par un onduleur double transition et/ou par un convertisseur dont l'algorithme n'alloue pas un temps suffisant entre deux impulsions successives. Une double transition se produit par exemple quand une phase commute de -CC bus à +CC bus au même moment qu'une autre phase commute du + au -. Ceci génère une tension d'amplitude $2 U_{dc}$ qui se propage vers le moteur et peut ensuite augmenter lors de la réflexion aux bornes de la machine. Sans un contrôle minimum des caractéristiques des impulsions et si le temps entre deux impulsions correspond à la constante de temps du câble de connexion, une surtension $> 2 U_{dc}$ peut être générée aux bornes de la machine. La réflexion peut être réduite ou évitée en utilisant un filtre soit au niveau du convertisseur, soit au niveau du moteur, soit à chacune de ces extrémités.

Dans l'hypothèse d'une défaillance par rapport à la terre d'une des phases d'un système dont le point neutre est flottant (cas d'une connexion en étoile) la machine peut être autorisée par le constructeur à fonctionner pour une période de plusieurs heures jusqu'à ce qu'une intervention appropriée puisse être programmée. Dans ce cas, les contraintes sur l'isolation de masse des autres phases vont naturellement augmenter.

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 calculated as follows:

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

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

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

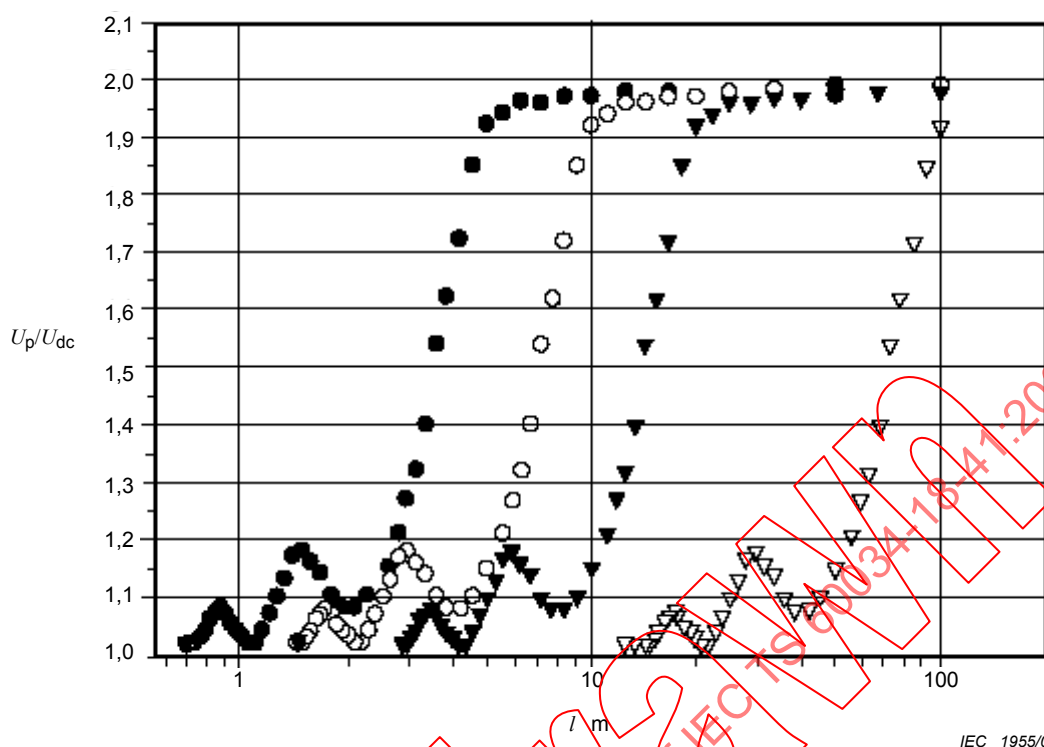
The proportion of jump voltage appearing across the first turn is obtained from Figure 9.

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. The factor of 0,7 is introduced in some of the above equations to take account of the sudden rise that 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. These values are in accordance with experimental measurements made on representative drive systems.

Examples of the enhancement that is produced for various rise times and cable lengths in the case of a 2-level converter are given in Figure 6. In this case, the enhancement to the voltage for an impulse rise time of 1 000 ns is insignificant below about 15 m and only exceeds 1,2 when the cable length is greater than 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 impulses. 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 drive and the motor, 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.



Légende

● $t_r = 50$ ns ○ $t_r = 100$ ns ▼ $t_r = 200$ ns ▽ $t_r = 1000$ ns

l longueur du câble

U_p/U_{dc} – rapport des tensions crêtes aux bornes de la machine et en sortie de l'onduleur

Figure 6 – Augmentation de la tension aux bornes du moteur en fonction de la longueur du câble pour différents temps de montée

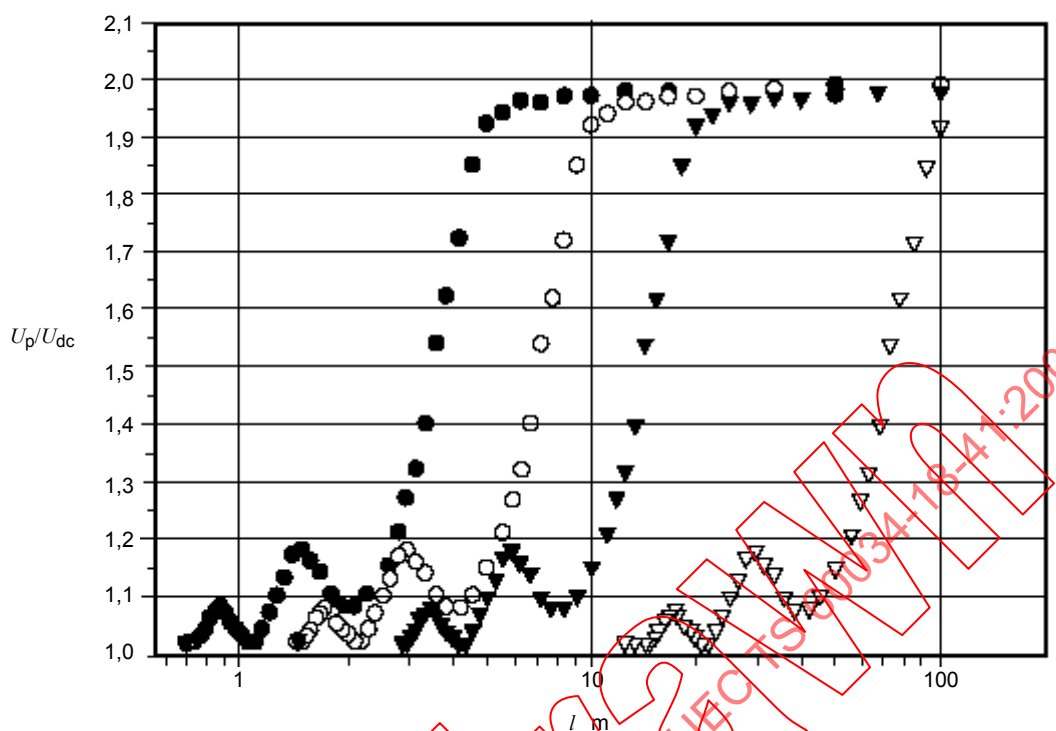
5 Contraintes électriques pour les systèmes d'isolation des bobinages de machines

5.1 Généralités

Lorsqu'un bobinage est soumis à des impulsions de tension de temps très courts d'amplitude suffisante, des contraintes importantes vont être créées dans les isolations suivantes (Figures 7 et 8):

- entre un conducteur et la terre,
- entre des conducteurs de phases différentes,
- entre des spires adjacentes.

Du fait de l'existence d'une charge d'espace soit en volume soit en surface de l'isolant, les contraintes électriques ne sont pas simplement définies par la valeur instantanée de la tension mais aussi et surtout par la valeur de la tension crête qui a contraint précédemment l'isolation. L'expérience montre que dans certaines limites le paramètre le plus contraignant dans les applications utilisant un convertisseur est la tension crête à crête. C'est la raison pour laquelle une tension unipolaire produit le même type de contraintes qu'une tension bipolaire ayant une tension crête à crête de même amplitude.



IEC 1955/06

Key

● $t_r = 50 \text{ ns}$ ○ $t_r = 100 \text{ ns}$ ▼ $t_r = 200 \text{ ns}$ ▽ $t_r = 1\,000 \text{ ns}$

l cable length

U_p/U_{dc} ratio of peak voltages at the machine and at the converter terminals

Figure 6 – The voltage enhancement at the motor terminals as a function of cable length for various impulse rise times

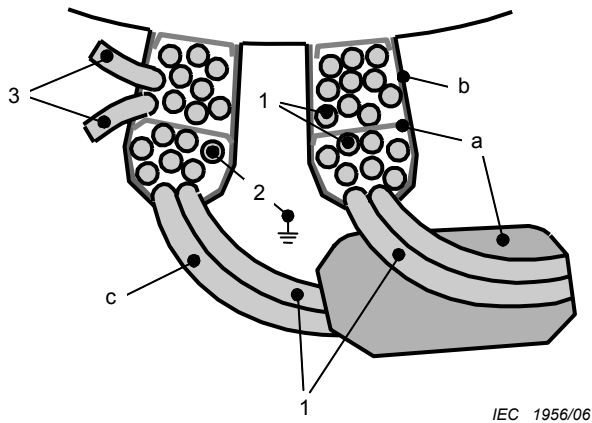
5 Electrical stresses in the insulation system of machine windings

5.1 General

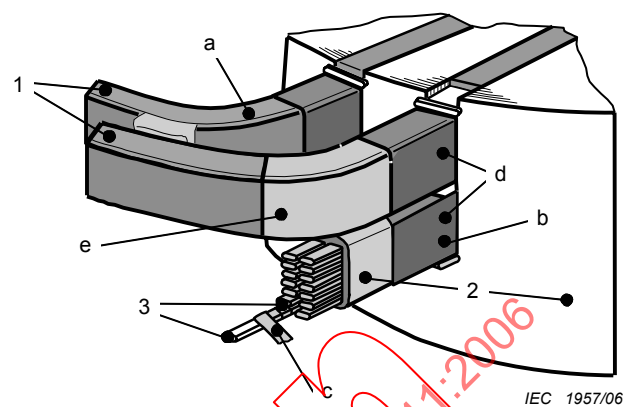
If a winding experiences short rise time voltage impulses with significant magnitude, high voltage stresses will be created in the following locations (Figures 7 and 8):

- 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.



IEC 1956/06



IEC 1957/06

Légende

- a Isolation entre phases/isolation de la développante
- b Isolation de fond d'encoche
- c Isolation entre spires
- d Protection anti-corona dans l'encoche
- e Protection anti-corona répartiteur de potentiel sur les développantes

- 1 Entre phases
- 2 Phase /terre
- 3 Entre spires

Figure 7 – Exemple de conception des bobinages aléatoires

Figure 8 – Exemple de conception des bobinages formés

5.2 Tension contraignant l'isolation entre phases

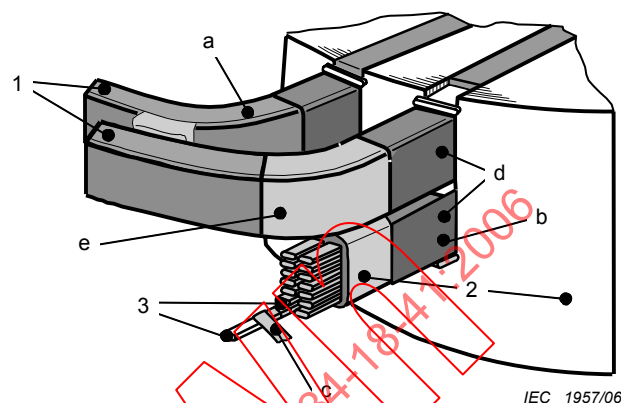
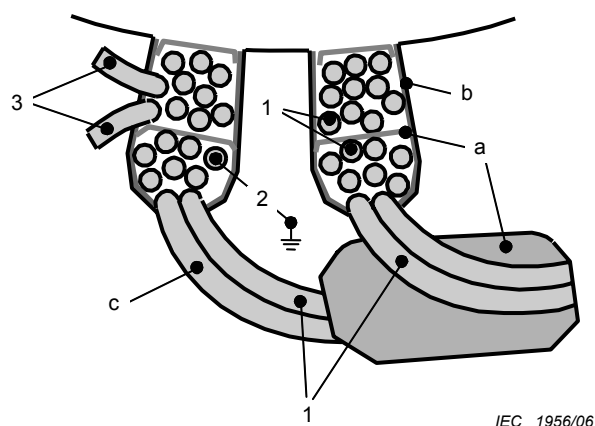
La contrainte maximale s'exerçant sur l'isolation entre phases est déterminée par le design du bobinage et par les caractéristiques de la tension entre phases.

5.3 Tension contraignant l'isolation par rapport à la terre

La contrainte maximale s'exerçant sur l'isolation de fond d'encoche est déterminée par le design du bobinage et par les caractéristiques de la tension par rapport à la terre.

5.4 Tension contraignant l'isolation entre spires

Les contraintes électriques dans le bobinage sont déterminées par le créneau de tension et le temps de montée de l'impulsion aux bornes de la machine. Pour des bobinages aléatoires, la distribution des transitoires de tension dépend de la position relative des spires dans l'encoche. Des impulsions avec des temps de montée très courts conduisent à une distribution non linéaire de la tension dans le bobinage, la contrainte étant maximale aux bornes de la première ou des premières bobines (ceci dépend du type de bobinage) d'une phase. Dans la pratique, la première et la dernière spire peuvent être adjacentes et la différence de tension entre spires peut être celle correspondant à l'ensemble de la bobine. La Figure 9 montre le pire cas mesuré aux bornes de la première bobine dans de nombreux stators différents les uns des autres en fonction du temps de montée. La tension est une fonction de la tension phase/terre. Les données sont extraites d'une combinaison de figures des références [1] et [2] de la bibliographie.



Key

- a Phase insulation / overhang insulation
- b Ground insulation
- c Turn insulation
- d Slot corona protection
- e Overhang corona protection (stress grading)

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

Figure 7 – Example of a random wound design

Figure 8 – Example of a form wound design

5.2 Voltages stressing the phase/phase insulation

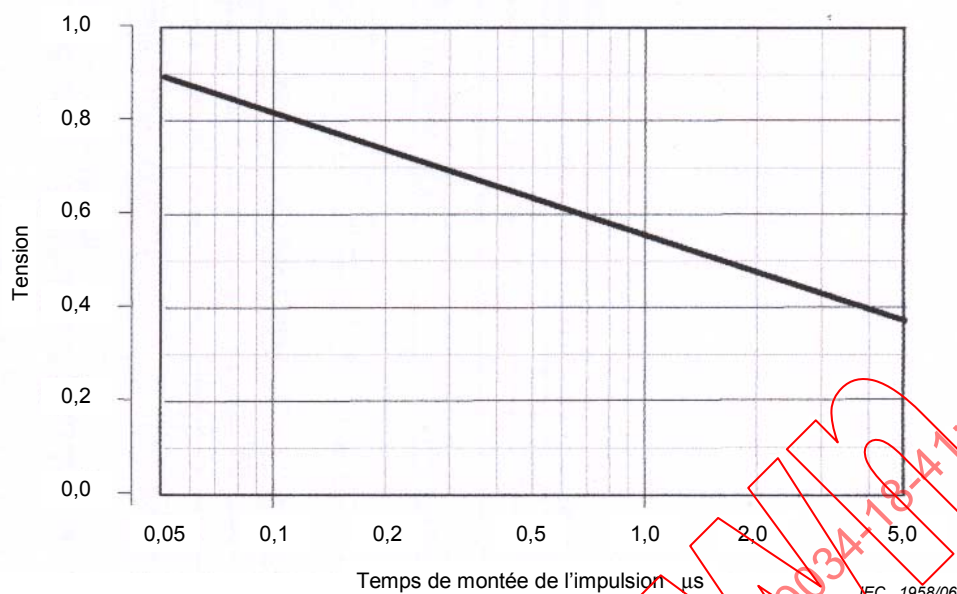
The maximum voltage stress on the phase/phase insulation is determined by the design of the winding and by the characteristics of the phase/phase voltage.

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 motor terminals. For random windings, the distribution of the transient voltage depends upon the relative position of the individual turns in the slots. Short impulse rise times result in the voltage being unevenly distributed throughout the coils, with high levels of stress present across the first coil or coils (depending upon the winding design) of the individual winding phase. In practice, the first and last turn can be adjacent to each other and the turn/turn voltage be almost equal to the voltage drop across the coil. Figure 9 shows the worst case voltage measured across the first coil in a variety of stators as a function of 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 [1] and [2] of the bibliography.



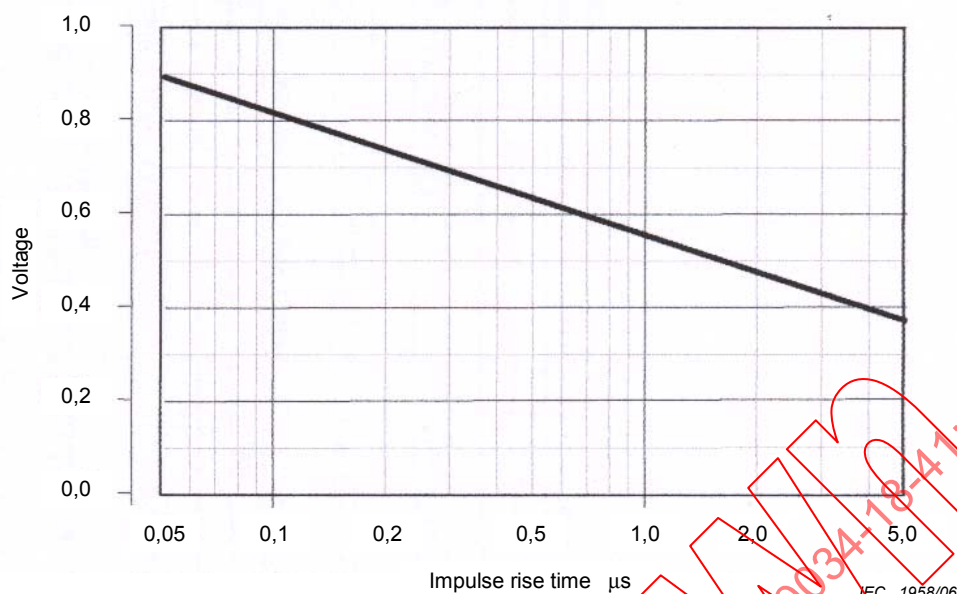
NOTE 1,0 est la valeur crête de la tension phase/masse aux bornes de la machine (basées sur les références [1] et [2], voir Bibliographie).

Figure 9 – Valeurs maximales des tensions appliquées à l'isolation entre spires dans différents types de stator bobinés mécaniquement en fonction du temps de montée de l'impulsion

5.5 Mécanismes de détérioration des isolants

Dans les bobinages basse tension, qu'ils soient aléatoires ou rangés, l'isolation du conducteur est de faible épaisseur, et de l'air peut l'entourer. De plus, dans une machine à bobinage aléatoire, la première et la dernière spire d'une ou de plusieurs bobines peuvent être adjacentes. Si une contrainte électrique d'amplitude suffisante est appliquée entre spires, ou par rapport à la terre, ou encore, par rapport à une autre phase, l'air occlus entre les spires (ou ailleurs) peut subir un claquage. Ce claquage étant localisé et ne court-circuitant pas toute l'isolation, cette décharge est dite partielle (DP). Les électrons et les ions créés par cette décharge bombardent le matériau isolant qu'il soit de l'entre spires, de l'entre phases ou de fond d'encoche. Dans des machines bobinées mécaniquement, l'isolation entre spires est de manière conventionnelle un film mince organique. Ce film est susceptible d'être érodé par les DP, conduisant à la rupture de l'isolation et au court-circuit de la bobine. Des points d'impacts sur l'isolation et de la poudre blanche sont des indications de l'existence de DP pendant le fonctionnement. Notons que l'isolation de fond d'encoche des bobinages de machines haute tension est sujette à l'existence de DP mais leur impact est pris en compte dès la conception par l'utilisation de matériaux spécifiques résistant aux effets induits.

Un facteur de risque supplémentaire est associé à l'impact de fréquences élevées sur l'élévation de température au sein de l'isolant du fait du chauffage par pertes diélectriques. La répétition des fréquences des impulsions tout comme les fréquences associées aux fronts de montée de l'impulsion de tension conduisent à des échauffements supplémentaires à cause des pertes diélectriques dans les matériaux isolants. Les matériaux les plus susceptibles d'être l'objet de ces échauffements sont les isolations de fond d'encoche et entre phases ainsi que les matériaux répartiteurs de contraintes.



NOTE 1,0 is the peak phase/ground jump voltage at the machine terminals (based on references [1] and [2], see Bibliography).

Figure 9 – Worst case voltage stressing the turn/turn insulation in a variety of random wound stators as a function of the impulse rise time

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 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. 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 and phase to phase insulation in the stator slots.

6 Les différents types d'isolation des machines

Deux types de bobinages sont définis dans les spécifications techniques CEI 60034-18-41 et CEI 60034-18-42. Ceux de Type I ne doivent pas présenter des DP pendant leur fonctionnement (voir Figure 8). Ceux de Type II sont susceptibles d'en endurer pendant leur fonctionnement et sont donc conçus avec des matériaux capables de les supporter (voir Figure 9). Les machines avec des tensions nominales $\leq 700 V_{\text{eff}}$ peuvent avoir des bobinages de type I ou de type II. Au-delà de $700 V_{\text{eff}}$, l'isolation est généralement de type II. La valeur de la tension nominale est en général affectée par le fabricant à la fréquence du secteur. Ceci suppose que la tension est de type sinusoïdal 50 Hz ou 60 Hz. Dans le cas de machines alimentées par onduleur, la définition classique de la tension nominale n'est plus du tout valide, même si le fabricant peut continuer à assigner cette tension pour du 50 Hz ou du 60 Hz et le marquer sur la plaque de la machine. La tension nominale doit être définie pour le système d'isolation en utilisant les paramètres de classification pour lesquels la qualification a été réalisée. La tension nominale assignée par le fabricant peut ne plus être valable lors d'une alimentation par convertisseur. La classification d'une isolation en «type I» signifie qu'aucune décharges partielles n'a été détectée lors de la procédure de tests tels que décrits dans la présente spécification technique.

7 Catégories de contraintes pour des isolations de type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseur

La personne en charge de l'intégration du convertisseur doit spécifier à la personne en charge de la conception de la machine, la tension qui va être appliquée à ses bornes. Il convient que cette valeur soit mentionnée en plus des caractéristiques classiques telles que la tension nominale, la classe thermique, le taux d'humidités, etc. Plus spécifiquement, les valeurs extrêmes des paramètres suivants doivent être mentionnées. La fréquence de répétition n'est pas considérée comme un paramètre critique dans la qualification des systèmes d'isolation de type I.

- a) La valeur crête de l'impulsion de tension aux bornes de la machine U_p (0 au max). Pour des machines bobinées mécaniquement, les valeurs par défaut d' U_p peut être issue des valeurs données dans la Figure 17 de la CEI 60034-25.
- b) Du temps de montée des impulsions, t_r .

Le Tableau 3 donne des indications sur le degré auquel des composants des systèmes d'isolation de type I sont affectés par la forme de tension spécifique produite par le convertisseur. Noter que l'impact de ces formes d'onde sur l'isolation entre spires est une combinaison du temps de montée de l'impulsion et du créneau de tension qui se produit.

6 Types of machine insulation

Two types of winding insulation are defined in technical specifications IEC 60034-18-41 and IEC 60034-18-42. Type I winding insulation is not expected to experience PD activity during its life (see Figure 8). Type II winding insulation is likely to have to withstand PD during its life and should therefore contain materials that resist PD (see Figure 9). 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 or 60 Hz sinusoidal. In the case of machines driven from converters, the conventional definition of voltage rating is no longer applicable, although the manufacturer may still assign a rated voltage for 50/60 Hz operation and put it on the rating plate of the machine. The rating under converter operation must be defined for the insulation system using the classification parameters under which qualification was carried out. The power frequency rated voltage assigned by the manufacturer to the machine may not be appropriate to the insulation when powered from a converter. The insulation classification of Type I is determined by the absence of partial discharges when subjected to the test procedures described in this technical specification.

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

The converter drive integrator must specify to the motor designer the voltage that will appear at the motor terminals. It should be included in the purchase specification, in addition to the traditional features such as rated voltage, thermal class, humidity, etc. Specifically, the limiting values must 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 that is expected to occur at the machine terminals U_p (0 to peak). For random wound machines, the default values of U_p may be the peak voltages shown in Figure 17 of IEC 60034-25.
- b) The impulse 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 inverter 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.

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

Type d'isolation	Fréquence fondamentale	Fréquence de répétition de l'impulsion	Impulsion de tension crête à crête (fréquence fondamentale)	Impulsion de tension crête à crête (fréquence de l'impulsion)	Créneau de tension	Temps de montée de l'impulsion
Entre spires	○	○	○	○	●	●
Fond d'encoche	○	○	●	●	○	○
Entre phases	○	○	●	●	○	○
NOTE ○ Peu significatif ● Très significatif						

Il est clair qu'un grand nombre de combinaisons multiples de ces facteurs, que l'utilisateur peut spécifier, existe mais l'expérience commerciale acquise aujourd'hui montre qu'il y a des combinaisons pratiques qui existent pour définir les systèmes de type I. Ainsi, par la sélection d'une charge de service appropriée, le constructeur sera capable de qualifier un type de machine spécifique afin de satisfaire la demande du marché visé. Les classifications pour des bobinages de type I sont données dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Catégories de contraintes générées par un convertisseur 2 niveaux pour des systèmes d'isolation de type I

Charge de service	Facteur de surtension U_p/U_{dc}	Temps de montée, t_r (μs)
A – Faible	$\leq 1,1$	≥ 1
B – Medium	$\leq 1,5$	$\geq 0,3$
C – Sévère	$\leq 2,0$	$\geq 0,1$
D – Extrême	$\leq 2,5$	$\geq 0,05$

Le niveau «faible» du facteur de surtension donné dans le Tableau 4 est supposé être relié au cas d'un convertisseur directement connecté au moteur ou à travers un câble très court, voir l'exemple dans le Tableau A.1. Cependant, dans la pratique une valeur de U_p/U_{dc} égale à 1,0 est impossible à atteindre car elle nécessiterait qu'il n'y ait aucune surtension aux bornes de la machine. Pour prendre cet effet en compte la valeur des contraintes de type A a été augmentée de 10 % à 1,10. La valeur de 2,0 provient des conditions décrites dans le Tableau A.1 quand le moteur est connecté à l'onduleur par un long câble. La bande 1,1 à 2,0 a été décomposée en deux parties pour des raisons pratiques. La limite de 2,5 est appliquée aux conditions les plus extrêmes susceptibles d'être rencontrées pendant le fonctionnement.

Les différentes catégories pour les temps de montée de l'impulsion sont indépendantes des facteurs de surtension. Il est ainsi possible pour un système d'isolation particulier d'endurer une surtension «sévère» et un temps de montée «modéré» de l'impulsion. Ces valeurs sont issues des expériences acquises en utilisant les technologies actuellement disponibles. Les valeurs extrêmes sont supposées n'être rencontrées que rarement. Il convient que les tests de qualification soient réalisés pour des combinaisons de catégories de contraintes particulières correspondant aux valeurs les plus extrêmes de chaque gamme.

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

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

It is recognised that there will be a multitude of possible combinations of these independent factors that purchasers may specify but commercial experience has shown that there are convenient groupings that exist for Type I systems. It is intended that, by selecting a particular combination of these stress categories, the manufacturer will be able to qualify a design of machine to meet the requirements of a market sector. The stress categories for Type I insulation systems are given in Table 4.

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

Stress category	Overshoot factor U_p/U_{dc}	Impulse rise time, t_r μs
A – Benign	$\leq 1,1$	≥ 1
B – Moderate	$\leq 1,5$	$\geq 0,3$
C – Severe	$\leq 2,0$	$\geq 0,1$
D – Extreme	$\leq 2,5$	$\geq 0,05$

The benign level of overshoot factor given in Table 4 is intended to relate to the case of a converter directly connected to the motor or through a short cable, as described in the example in Table A.1. However, it is recognised that in practice the 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 motor terminals. In order to allow for these practical considerations, the value for stress category A has been raised by 10 % to 1,10. The value of 2,0 arises from the condition described in Table A.1 for a converter connected to the motor 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.

The impulse rise time categories are independent of the overshoot factors. For example, it is possible that, for a particular insulation system, a severe overshoot factor may be combined with a moderate impulse rise time. The values have been chosen from experience of present day technology. The extreme category is only expected to be experienced in rare cases. The qualification testing for a particular combination of stress categories should be performed at the most severe value for each band.

8 Tests de qualification et test de type I pour les systèmes d'isolation

8.1 Généralités

Le test des systèmes d'isolation des machines destinées à être alimentées par convertisseur s'effectue en deux étapes. La première concerne le choix des matériaux et de leurs procédés de mise en œuvre. Pour les systèmes d'isolation de type I, il s'agit de motorettes ou de formettes qui doivent endurer des cyclages thermiques et des procédures de diagnostic incluant les tests mécaniques, d'humidité et de tension dans le but de s'assurer de l'absence de décharges. Le deuxième niveau est un essai de conception spécifique (essai de type). Dans le cas de système d'isolation de type I, la machine (ou le bobinage) est testé(e) dans son intégralité.

8.2 Tests de qualification

Dans la présente spécification technique, un test de qualification est réalisé pour valider la capacité des systèmes d'isolation à endurer des contraintes diverses. Pour des isolants de type I, il s'agit de mesurer les seuils d'apparition des décharges (PDIV) avant et après le cyclage thermique tels que définis dans la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31, ainsi que des essais en tension pour des niveaux de contraintes définis dans l'Article 7, augmentés d'un facteur de sécurité décrit en B.2. La qualification dans le cadre de la présente spécification technique est réalisée pour un vieillissement thermique effectué au niveau le plus faible des 3 températures spécifiées pour ce type de vieillissement dans la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31.

8.3 Essai de type

Dans le cas des systèmes d'isolation de type I, les PDIV sont mesurés pour démontrer l'absence de toute activité liée à l'existence de décharges partielles lorsque la machine ou le bobinage complet sont soumis aux formes de tension appropriées correspondant aux catégories de contraintes spécifiées augmentées d'un facteur de sécurité de 1,3 (voir l'Annexe B).

9 Equipements d'essais

9.1 Mesure des DP aux fréquences industrielles

Un dispositif de mesure de DP conventionnel utilisant soit un condensateur de couplage soit un transformateur de courant RF peut être utilisé pour mesurer les tensions d'apparition et d'extinction des DP lorsqu'une tension sinusoïdale de 50 Hz ou 60 Hz est appliquée aux objets sous tests. Les détails des équipements, des méthodes de mesure et des techniques de calibration sont présentés dans la CEI 60270. Il convient que l'application d'une tension de 50 Hz ou 60 Hz lors de la mesure des DP telle que décrit dans la CEI 60270 soit réservée à des objets de type capacitifs tels que des bobinages individuels, des formettes ou des motorettes. La principale information résultant de ce type d'essai est la valeur (en $V_{eff.}$) de la tension d'apparition des décharges de l'isolation phase/masse.

9.2 Mesure des DP durant les impulsions de tension

Les dispositifs de mesures conventionnels utilisés dans les applications 50/60 Hz, tels que décrits dans le document CEI 60270, ne peuvent généralement pas être utilisés dans le cas d'impulsions de courtes durées. Un temps de montée de 100 ns présente des composantes fréquentielles au-delà de 3 MHz. Ceci signifie que les impulsions de tension ont des composantes fréquentielles qui se situent dans la bande passante de la plupart des détecteurs recommandés par la CEI 60270, conduisant à des signaux qui peuvent avoir une amplitude jusqu'à 100 fois plus grande que celle des signaux liés aux décharges. Pour cette raison, il sera difficile d'établir une distinction entre le signal généré par le convertisseur et les impulsions propres aux décharges. Enfin, certains de ces signaux sont susceptibles de détruire le détecteur de décharges.

8 Qualification and type tests for Type I insulation systems

8.1 Overview

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, design rules and manufacturing technique. For Type I insulation systems, it is carried out using motorettes or formettes that undergo thermal cycling and diagnostic procedures which include mechanical, moisture, voltage and other tests with the aim of assessing the absence of PD. The second stage is a design specific test (type test). In the case of Type I insulation systems, the complete winding or machine is tested.

8.2 Qualification test

For the purposes of this technical specification, a qualification test is used to investigate the capability to withstand various stresses. For Type I insulation systems, it is based on PDIV measurements 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 enhanced by a safety factor described in B.2. For qualification in this technical specification, it is only necessary to perform thermal ageing at the lowest of the three ageing temperatures specified in IEC 60034-18-21 or IEC 60034-18-31.

8.3 Type test

In the case of Type I insulation systems, the PDIV is measured to demonstrate the absence of partial discharges while the complete winding or machine is subjected to the voltage waveform appropriate to the selected stress categories, with the voltage enhanced by a safety factor of 1,3 (see Annex B).

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 to measure the PD inception and extinction voltages when the applied voltage to the test object is a sinusoidal 50 Hz or 60 Hz waveform. Details of the measurement equipment, methods and calibration are presented in IEC 60270. Use of 50 Hz or 60 Hz applied voltages together with the PD measurement method described in IEC 60270 should be reserved for capacitive test objects such as individual coils, formettes and motorettes. The main result is the PDIV measured phase to earth in $V_{r.m.s.}$.

9.2 PD measurement during voltage impulses

Conventional PD measurement devices for use with 50/60 Hz voltages, such as described in IEC 60270, cannot generally be used when the applied voltage is a short rise time voltage impulse. A rise time of 100 ns 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 60270 style detectors, resulting in a displayed signal that may be hundreds of times the magnitude of the partial discharge pulses. For this reason, the partial discharge pulses will be difficult to distinguish 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.

Un détecteur dédié à ce type de mesure doit donc être utilisé. Le détecteur employé devra réduire toutes les composantes de la tension de fréquences élevées à des niveaux plus faibles que ceux associés à l'existence de DP. Le système de visualisation peut être un oscilloscope ou un analyseur de spectre. Des recommandations concernant les méthodes et les équipements à utiliser sont données dans la CEI 61934. La mesure des DP, suite à l'application d'impulsions de tension de fronts raides nécessite des équipements spécifiques en cours de développement mais aussi des méthodes permettant de séparer le signal lié aux DP de la tension résiduelle de l'impulsion.

Sans cette capacité à discriminer le signal, un objet testé pourrait être considéré comme présentant un seuil moins élevé que celui qui est réellement le sien. A contrario, la détection de décharges partielles à partir de capteurs classiques ne peut être effectuée. Des précautions particulières doivent donc être prises pour ce genre de mesures.

9.3 Générateurs de tensions impulsionnelles

Pour la mesure des tensions d'apparition et d'extinction des décharges sous tensions impulsionnelles, un générateur spécifique doit être utilisé. Afin de simuler au mieux les impulsions générées par des convertisseurs, il convient que le générateur présente des temps de montée correspondant à la catégorie de contraintes visées. Il convient que le générateur d'impulsion ait une tension variable réglable de zéro au niveau de tension le plus élevé nécessaire à la gamme de tension du stator. Le principal résultat recherché est la valeur du RPDIV. Dans le rapport, il convient de donner les caractéristiques suivantes:

- a) valeur de la tension crête à crête en sortie du générateur d'impulsion, que la tension soit bipolaire ou unipolaire, le premier cas étant considéré comme le plus critique;
- b) temps de montée de l'impulsion;
- c) temps de descente de l'impulsion, à moins qu'il ne soit supérieur à 5 fois le temps de montée de l'impulsion.

9.4 Sensibilité

Concernant la sensibilité des détecteurs de DP, elle décroît généralement comme l'impédance de la charge (ou quand la capacité augmente). En première approximation, il convient que la sensibilité espérée durant les tests de qualification et d'acceptation dans la présente spécification soit de 1 pC par nF de charge capacitive à 50/60 Hz avec un minimum de 1 pC. Un dispositif de mesure capable d'effectuer cette mesure avec une telle sensibilité est considéré comme suffisant pour mesurer les seuils d'apparition des décharges partielles (PDIV) sur des charges inductives.

Lors de la mesure des décharges sur des objets soumis à des impulsions de tension, il convient que le bruit de fond soit mesuré en mV suivant la procédure décrite dans la CEI 61934.

9.5 Mesure des PDIV et des RPDIV

9.5.1 Mesure du PDIV aux fréquences industrielles

Dans la présente spécification, «exempt de décharges partielles» signifie que des valeurs inférieures à 5 pC sont mesurées pour les isolations entre spires et pour des formettes lors de mesures réalisées à 50 Hz ou 60 Hz. Cette valeur est aussi la valeur maximale autorisée du bruit pendant la mesure. Le PDIV est mesuré suivant les procédures décrites dans la CEI 60270.

9.5.2 RPDIV avec excitation par choc

Le seuil d'apparition de décharges répétitives est déterminé suivant la procédure décrite dans la CEI 61934. Le bruit de fond est donné en mV. Sa valeur et la sensibilité de la mesure doivent être rapportées conformément à la CEI 61934.

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 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 61934 on the method and equipment to be used. The measurement of PD caused by short rise time impulses is an emerging technology and some skill may be required to separate PD from any residue of the impulse voltage.

Without such skill, a test object may be classified as having a lower PDIV than it actually has. Conversely, PD remote from the PD sensor may not be detected. Thus, care must be taken with these PD measurements.

9.3 Voltage impulse generators

To perform the partial discharge inception and extinction voltage tests under impulse voltage conditions, an impulse generator is required. To simulate properly the impulses for the relevant stress category, the voltage impulse generator should have a rise time that is appropriate for the stress category. The impulse generator should have a controllable output magnitude from zero volts to the highest voltage required for the stator voltage rating.

The main result is the RPDIV. When reporting results, the following should be provided:

- a) the peak/peak voltage of the impulse generator output, whether unipolar or bipolar, as this is considered to be the critical parameter;
- b) the impulse rise time;
- c) impulse fall time, unless it is more than five times the impulse rise time.

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 specification should be 1 pC per nF of capacitive load at 50/60 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 make PDIV measurements on inductive loads when equating impedances.

When PD is to be measured in test objects energised by voltage impulses, the background noise should be measured in mV according to the procedure in IEC 61934.

9.5 PDIV and RPDIV measurement

9.5.1 PDIV measurement with power frequency voltage

For the purposes of this specification, 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 or 60 Hz. These values are also the maximum noise levels permitted during measurements. The PDIV is measured according to the procedures in IEC 60270.

9.5.2 RPDIV with impulse excitation

The repetitive PD inception voltage is determined according to IEC 61934. The background noise level is given in mV. This background noise level and the sensitivity according to IEC 61934 shall be reported.

10 Qualification des systèmes d'isolation de type I

10.1 Généralités

Pour des systèmes d'isolation de Type I, les tests ne sont pas menés jusqu'à la rupture. Les échantillons sous tests sont soumis à des cycles thermiques et mécaniques tels que décrits dans la CEI 60034-18-1, la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31 auxquels s'ajoutent les tests de tenue diélectrique. Après chaque période de test, les objets sont caractérisés par des mesures de décharges partielles. Le vieillissement est considéré avoir conduit l'objet sous test à la mise en défaut si le PDIV est inférieur à 1,3 fois la tension spécifiée pour la catégorie de contraintes choisie. De manière identique, le PDIV doit être supérieur aux valeurs obtenues sur le système de référence avec une expérience prouvée et qui a été qualifiée pour des conditions identiques à celles de 10.4. La tension d'apparition est déterminée comme la valeur la plus faible de la tension pour laquelle les décharges sont détectées dans la limite des sensibilités décrites en 9.4.

De expériences positives d'association convertisseurs/machines spécifiques existent et sont reconnues. Pour ces machines seulement le constructeur peut utiliser cette expérience comme alternative aux tests de qualification. Ceci doit être décidé d'un commun accord entre le fabricant et son client.

10.2 Approche

10.2.1 Généralités

Les systèmes d'isolation de Type I sont censés fonctionner leur vie entière sans que des décharges partielles ne se produisent. Il est donc essentiel de mesurer le seuil d'apparition des décharges au maximum de la tension de service spécifiée dans l'Annexe B multipliée par un facteur de sécurité. Les formes d'ondes autorisées pour les différentes composantes des systèmes d'isolation sont données dans le Tableau 5.

Les échantillons doivent être représentatifs, tant des matériaux que des techniques de mise en œuvre propres à la production. Ils représentent soit une partie, soit la totalité des systèmes d'isolation.

Tableau 5 – Formes d'ondes autorisées pour tester les composantes des systèmes d'isolation

Type d'isolation sous test	Paire twistée ou dispositif équivalent		Motorette ou formette		Stator complet	
	Sinus	Impulsionnel	Sinus	Impulsionnel	Sinus	Impulsionnel
Entre spires	Oui	Oui	*	Oui	*	Oui
Entre phases	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Phase/terre	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

* Un bobinage spécifique correspond à une isolation entre spires simulée par au moins deux conducteurs isolés bobinés en parallèle, l'un étant porté au potentiel, l'autre étant relié à la masse.

10.1 General

It is recognised that proven service experience may have already been achieved with specific systems, comprising particular converter/machine combinations. For these machines only, the manufacturer may use this experience as an alternative to qualification testing. This is to be agreed between manufacturer and purchaser.

10.2.1 General

The test samples are to be made using the materials and manufacturing routes applicable to production. They may represent either part of the insulation system or the insulation system in total.

Table 5 – Allowable voltage waveforms for testing system components

Insulation to be tested	Twisted pair or equivalent		Motorette or formette		Complete stator	
	Sine	Impulse	Sine	Impulse	Sine	Impulse
Turn/turn	Yes	Yes	*	Yes	*	Yes
Phase/phase	No	No	Yes	Yes	Yes	yes
Phase/ground	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes

* 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.

10.2.2 Paires twistées ou dispositif équivalent

Des paires twistées, ou des conducteurs adjacents dans le cas des conducteurs rectangulaires, peuvent être utilisés pour tester le comportement de l'isolation entre spires afin d'établir les contraintes en tension qui doivent être utilisées pour des conducteurs parallèles lors des tests sur motorettes et formettes. Des tensions sinusoïdales ou impulsionnelles donnent des résultats équivalents en termes de seuil d'apparition des DP (PDIV) car la distribution des tensions d'un bobinage complet n'est pas prise en compte dans de tels échantillons. Pour ces objets, il suffit donc de mesurer le PDIV sous tension sinusoïdale. La contrainte en tension doit être augmentée au-delà de la contrainte moyenne par spires en service telle que décrite en 5.4. Les niveaux spécifiés en B.3 sont des valeurs crêtes à crêtes.

10.2.3 Motorette (fil rond) or formette (barres)

Ces échantillons modèles peuvent être utilisés pour représenter les isolations entre phases et/ou entre phase et terre. L'isolation entre spires peut aussi être représentée par des conducteurs parallèles. Il convient que ce type d'échantillon soit testé suivant les contraintes spécifiées dans le Tableau 5. Il convient que la distribution de tension dans ces échantillons reproduise celle observée dans une machine réelle. Il convient que les tests soient entrepris sur des échantillons imprégnés si la machine l'est elle-même.

10.2.4 Bobinage statorique complet

Les isolations entre phases et d'une phase par rapport à la terre sont ainsi testées. L'isolation entre spires des bobinages conventionnels est testée sous tension impulsionnelle. Ce type de tension contraint les différents systèmes d'isolation de manière représentative, même dans le cas où le point étoile est connecté. La distribution de tension dans le bobinage doit cependant être prise en compte. Il convient que les essais soient réalisés sur des échantillons imprégnés si la machine l'est elle-même.

Des mesures de DP en tension alternative sinusoïdale sont autorisées si un bobinage spécifique dans lequel des paires de câbles sont bobinés en parallèle est utilisé et si le maximum de tension susceptible d'être observé entre deux conducteurs adjacents est appliqué à leurs bornes. Les conditions d'application des tensions sinusoïdales ou impulsionnelles sont données dans le Tableau 5.

10.3 Préparation des objets sous test

10.3.1 Généralités

Il convient que les échantillons soient aussi proches que possible de ceux décrits dans la CEI 60034-18-21 pour des échantillons représentatifs de bobinages aléatoires et de la CEI 60034-18-31 pour des échantillons rangés ou pour la production de bobinage statorique.

10.3.2 Echantillons pour l'isolation entre spires

Pour l'isolation entre spires, le PDIV est mesuré sur une paire torsadée (voir la CEI 60172) ou un dispositif équivalent. Ce test peut être considéré comme une base permettant d'établir le niveau des contraintes en tension devant être utilisé sur des conducteurs parallèles lors du test sur motorette/formette.

Des tests de décharges partielles sur des échantillons entre spires imprégnées ne peuvent pas être utilisés pour déterminer la qualité de la résine d'imprégnation et des procédures de mise en œuvre dans la fabrication des motorettes ou des formettes, ou encore d'un bobinage complet. Pour cette évaluation, seules des motorettes/formettes ou un bobinage complet doivent être utilisés.

10.2.2 Twisted pair or equivalent arrangement

Twisted pairs or parallel adjacent conductors, in the case of rectangular 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 give equivalent results in terms of PDIV because the voltage distribution experienced in a complete winding is not represented. For these test objects, it is sufficient to measure the PDIV using a sine wave voltage. The voltage stress must 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 B.3 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. This model arrangement should be tested according to Table 5. The voltage distribution arising in the model should reproduce that occurring within the complete machine. Tests should be performed on impregnated samples where the service machine is to have impregnated windings.

10.2.4 Complete stator 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 stator coils. Tests should be performed on impregnated samples where the service machine is to have impregnated windings.

Sinewave measurement 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 should be used are given in Table 5.

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 stator winding.

10.3.2 Turn/turn insulation samples

In the turn/turn test, the PDIV 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 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 ou bobinage complet

Les échantillons sont réalisés à partir des matériaux et des techniques de mise en œuvre utilisés pour la production des bobinages. Il convient que l'isolation entre phases et l'isolation principale reproduisent les distances de contournement et de sécurité (entre phases) rencontrées dans un bobinage réel. Il convient que les échantillons soient représentatifs des matériaux et des épaisseurs utilisés en production pour chacun des différents types testés.

10.4 Méthode de qualification

10.4.1 Généralités

Le but est de mesurer les seuils d'apparition des décharges des systèmes d'isolation et des parties relatives des systèmes d'isolation durant les essais d'endurance thermique en accord avec la CEI 60034-18-1, la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31, et dans des conditions sous lesquelles ils doivent être qualifiés. Les catégories de contraintes pour lesquelles le système doit être qualifié (Article 7) ainsi que les procédures d'essais et les conditions de vieillissement doivent être précisés à la fin des essais. Le système d'isolation doit être utilisé afin de savoir si le PDIV reste au dessus de la valeur spécifiée à la fin des cycles de vieillissement. Il convient que cinq échantillons au moins soient utilisés afin d'obtenir un traitement statistique approprié. Dans le cas où un stator complet est testé, un seul échantillon s'avère suffisant. Un système de référence peut être utilisé lors de la procédure de qualification à condition qu'il satisfasse aux conditions énoncées en 10.1.

10.4.2 Diagnostic

Il convient que des diagnostics soient entrepris sur des échantillons avant la première phase de vieillissement et après chaque cycle de vieillissement suivant. Le diagnostic sera réalisé sur chacune des bobines de chaque motorette/formette ou composant du bobinage. En plus des méthodes de diagnostic spécifiées dans la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31, il convient que des mesures de DP soient effectuées pour s'assurer qu'aucune décharge n'est produite au niveau spécifié (Tableaux 4 et B.2).

10.4.3 Cycle de vieillissement

Quand l'isolation entre phases doit être prise en compte, comme c'est le cas quand deux bobines de phases différentes occupent la même encoche, l'échantillon modèle, ou le bobinage complet, doivent reproduire cette caractéristique de la conception. Dans ce cas, un premier vieillissement avant tout diagnostic électrique doit être effectué durant 24 h à la température ambiante, dans lequel la fréquence et la tension crête sont augmentés d'un facteur tel que décrit en B.2. Le but de ce test est de déterminer si dans l'ensemble des systèmes d'isolations, certains ne présentent pas des pertes élevées, qui si elles peuvent être négligeables aux fréquences industrielles, peuvent conduire à des échauffements lors d'un fonctionnement avec un convertisseur. Le choix de cette fréquence est effectué en considérant le taux de répétition maximal des impulsions durant le fonctionnement de la machine.

Les cycles thermiques spécifiés dans la CEI 60034-18-1, seront appliqués aux échantillons en vue de les qualifier dans leur classe thermique. Si la classe thermique de l'isolation a déjà été déterminée suivant la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31, le vieillissement sera réalisé à la température la moins élevée. Les diagnostics spécifiés dans la CEI 60034-18-1, la CEI 60034-18-21 et la CEI 60034-18-31 seront eux aussi appliqués. Ceci inclut aussi les contraintes mécaniques, d'humidité, et de tension. Il doit être noté que l'humidité joue un rôle sur le PDIV. Pour cette raison, les essais en humidité seront effectués à une étape différente de la procédure afin que la détermination des seuils d'apparition des décharges ne soient pas effectuées immédiatement après.

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. 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.

10.4 Qualification test methods

10.4.1 General

The aim is to measure the PDIV behaviour of the components and related parts of the insulation system during thermal ageing tests, according to IEC 60034-18-1, IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31, under the conditions for which they are to be qualified. The stress category for which the system is to be qualified (Clause 7), the ageing procedure and diagnostic data should be reported at the conclusion of the test. The insulation system is deemed to be qualified if the PDIV remains above the specified test value at the end of the ageing cycles. There should be at least five samples on which PD tests may be performed in order to achieve a statistically valid outcome to the test, except in the case of complete stators where one sample is adequate. A reference system may be used in the qualification procedure, providing it satisfies the conditions given in 10.1.

10.4.2 Diagnostic tests

Diagnostic tests should be performed on samples prior to the first ageing cycle and after each ageing sub-cycle as follows. Each electrical diagnostic test should be performed on each coil of each motorette/formette or winding component. In addition to the diagnostic tests specified in IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31, a PD test should be undertaken to ensure that inception has not occurred at the specified test level (Tables 4 and B.2).

10.4.3 Ageing cycle

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 must reproduce this design feature. A pre-diagnostic electrical ageing test should be undertaken for 24 h at ambient temperature in which an elevated frequency is applied, with the peak voltage enhanced by a factor according to 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.

The appropriate thermal ageing sub-cycles specified in IEC 60034-18-1 should then 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 the lowest appropriate temperature. The specified diagnostic sub-cycles in IEC 60034-18-1, IEC 60034-18-21 and IEC 60034-18-31 should also be applied. These should include the mechanical, moisture and voltage tests. It should be noted that moisture may affect the PDIV test results. For this reason, the moisture test should be performed at a different stage of the procedure so that the PD test at the end does not follow it immediately.

10.4.4 Mesure des décharges

Concernant les mesures des seuils d'apparition des DP, il convient de les entreprendre:

- entre phases;
- phase/terre;
- entre spires.

Pour l'isolation entre phases, il suffit d'augmenter la tension à leur valeur nominale et de s'assurer qu'aucune décharge partielle ne se produise. Il n'est pas nécessaire de mesurer le PDIV. La tension est appliquée entre deux phases la troisième étant laissée flottante, la carcasse statorique étant quant à elle reliée à la masse. Les 3 combinaisons possibles sont testées à tour de rôle. Les isolations de fond d'encoche (isolation phase par rapport à la terre) seront testées les unes après les autres, les deux autres étant reliées à la masse statorique et à la terre. Ces procédures concernent aussi bien les connexions en étoile qu'en triangle. Si un stator complet, des formettes ou des motorettes constitués de bobinages conventionnels sont utilisés, les contraintes entre spires doivent être générées par un générateur d'impulsion.

Pour des stators complets présentant un bobinage conventionnel, seul un générateur d'impulsion est susceptible de contraindre l'isolation entre spires de manière représentative. Les décharges devront être détectées lors de l'application de cette tension au moyen d'un dispositif capable d'opérer dans de telles conditions (voir la CEI 61934).

Une inspection visuelle des échantillons sera réalisée mais ne peut en aucun cas être considérée comme un critère d'évaluation final.

10.5 Critère de qualification: test passé avec succès

Le test est considéré comme réussi si le seuil d'apparition des décharges des systèmes d'isolation de type I est supérieur à la tension de la catégorie correspondante (Tableaux B.2 et B.3) augmentée d'un facteur de sécurité (voir B.2) pour des échantillons ayant subi le vieillissement thermique à la température la moins élevée.

Une autre possibilité est que le seuil d'apparition soit supérieur à celui mesuré sur un système de référence ayant une expérience de service prouvée et qui aurait été qualifié dans des conditions identiques à celles décrites en 10.4.

11 Essais de type pour des systèmes d'isolation de type I

11.1 Généralités

L'essai de type est conduit sur un bobinage complet. Il est nécessaire de démontrer que le seuil d'apparition des décharges est supérieur à la valeur de la catégorie choisie et que l'essai est effectué avec la forme d'onde appropriée à la catégorie de contrainte sélectionnée.

L'essai est réalisé après accord entre le fournisseur et son client.

11.2 Méthode utilisée pour l'essai de type

La mesure de décharges partielles est effectuée sur un stator complet sous tension impulsionnelle (suivant les recommandations expérimentales données dans le Tableau 5).

La tension présente le temps de montée correspondant à la catégorie de contraintes spécifiée. Son amplitude est augmentée d'un facteur de sécurité (voir B.2). L'essai est effectué à une température de $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. Le taux de répétition pour l'application des impulsions peut être inférieur à la valeur spécifiée.

10.4.4 PD measurements

With regard to the PDIV measurements, they should be undertaken:

- phase/phase;
- phase/ground;
- 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 PDIV to be measured. When phase/phase insulation is tested, the voltage signal is applied across two terminals with the other terminal floating and the laminated core grounded. Each of the three possible combinations should be tested in turn. When phase/ground insulation is tested, each phase should be tested in turn with the other two terminals and the core grounded. These procedures apply to both Y and Δ connected windings. The turn/turn test may be undertaken with sine wave AC voltage when parallel conductors are used. Otherwise, an impulse voltage supply and detector are required.

If complete stators, formettes or motorettes made with normal windings are used, the voltage stress between turns is generated by means of an impulse voltage test equipment. For complete stators with normal windings, an impulse test equipment is required to test the coil/coil insulation. It will be necessary to detect the partial discharge activity during these tests with measuring equipment capable of operating under impulse conditions (see IEC 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 Qualification test pass criteria

The pass criterion for qualification of a Type I test sample is that the measured PDIV is above the selected stress category voltage (Tables B.2 and B.3), enhanced by a safety factor (see B.2), with testing performed on the samples which have had the lowest temperature ageing.

Alternatively, the PDIV must exceed the value obtained from a reference system with proven service experience which has been qualified under the same conditions as in 10.4.

11 Type test for Type I insulation systems

11.1 General

The type test is performed on a complete stator winding or machine. It is required to demonstrate a PDIV in excess of the specified value for the selected stress category and is performed with the appropriate wave shape for the selected stress category. This test is performed by agreement between the purchaser and manufacturer.

11.2 Type test method

The complete stator is subjected to a partial discharge test under impulse conditions (according to the test arrangements in Table 5), using the specified rise time for the appropriate stress category and the peak surge voltage increased by a safety factor according to B.2. The temperature of the winding should be $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. The repetition rate for application of impulses may be lower than the specified value.

L'essai est réalisé entre phases (le niveau de tension est donné dans le Tableau B.3 qui inclut le facteur de sécurité de 1,3). Il doit cependant être observé que cet essai peut contraindre plus que nécessaire l'isolation entre spires et par suite conduire à un seuil de décharges partielles répétitives trop faible. Afin d'éviter ce problème, la procédure suivante peut être utilisée:

- a) mesure du seuil d'apparition phase/terre sous tension impulsionnelle en utilisant les valeurs du Tableau B.2. Si le RPDIV est supérieur au critère d'acceptation, le bobinage a passé le test avec succès. Dans le cas contraire, une contrainte trop élevée a pu être appliquée à l'isolation entre spires. Une procédure de substitution peut alors être employée;
- b) mesure du seuil d'apparition phase/terre sous tension sinusoïdale (Tableau B.2). Ceci teste la qualité de l'isolation principale. Si le seuil est inférieur au critère d'acceptation, le système d'isolation est en défaut. Dans le cas contraire, le test de l'isolation entre spires peut alors être effectué;
- c) mesure du seuil d'apparition phase/terre sous créneau de tension correspondant au type de convertisseur (2 niveaux, 3 niveaux) en utilisant les valeurs du Tableau B.2. L'isolation entre spires est ainsi testée. Si le RPDIV est inférieur au critère d'acceptation, le test a échoué. Dans le cas contraire, le bobinage a passé le test avec succès.

11.3 Critère de réussite pour l'essai de type

Le RPDIV ou le PDIV en fonction du type doivent être supérieurs à la tension d'essai de type.

12 Analyse, rapport et classement

Il convient que les propositions données en 5.6 de la CEI 60034-18-1 pour l'analyse, le rapport et le classement soient adoptées afin que toutes les données nécessaires soient clairement rapportées et de manière traçable.

The test is performed between phases according to the voltages given in Table B.3, which include the safety factor of 1,3. However, it is recognised that this may overstress the turn/turn insulation and thereby create a misleadingly low RPDIV. Under these circumstances, an alternative procedure may be used for the type test, as follows:

- a) perform a phase/ground PD test with an impulse waveform, using the values in Table B.2. If the RPDIV is above the pass criterion, the winding has passed the type test. If the RPDIV is below the pass criterion, it may be because the turn/turn insulation is being overstressed. An alternative procedure may then be used as follows:
- b) perform a phase/ground PD test with a sinusoidal 50/60 Hz waveform, using the values in Table B.2. This tests the quality of the main wall insulation. If the PDIV is below the pass criterion, the insulation system has failed. If the PDIV is above the pass criterion, the turn/turn insulation is tested next;
- c) perform a phase/ground PD test with an impulse voltage equal to the jump voltage appropriate to the type of converter (2-level, 3-level, etc.) using the values in Table B.2. This tests the turn/turn insulation. 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 type test.

11.3 Type test pass criteria

The RPDIV or PDIV where appropriate must exceed the test voltage.

12 Analysis, reporting and classification

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

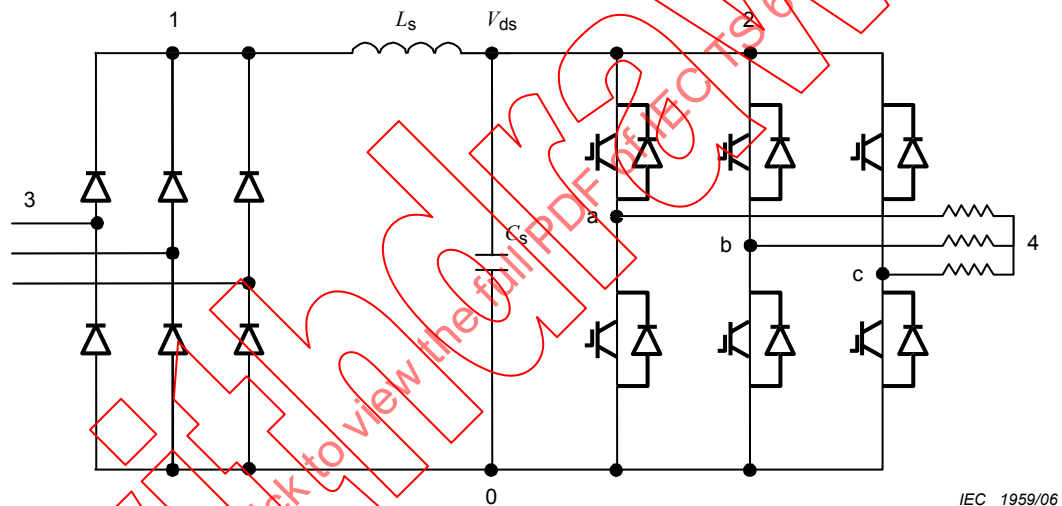
Annexe A (informative)

Tensions aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur

A.1 Tensions aux bornes d'une machine alimentée par convertisseur

Un convertisseur de tension, qu'il soit à Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) ou à contrôle vectoriel, génère des impulsions de tension de temps de montée très courts et d'amplitude fixe mais qui varient en durée ou en fréquence. L'amplitude de la tension des impulsions à la sortie du convertisseur n'est jamais supérieure à la tension du bus continu (U_{dc}). Ce niveau dépend de la tension redressée, ou du freinage, ou du facteur de correction de la tension régulée.

Un schéma simplifié de l'association convertisseur/machine est donné en Figure A.1.



IEC 1959/06

Légende

- 1 Redressement
- 2 Onduleur MLI
- 3 Entrée CA
- 4 Bobinage de la machine

Figure A.1 – Schéma simplifié de l'association convertisseur/machine

Dans une première étape, il est nécessaire de définir un point neutre à partir duquel toutes les tensions vont être définies. Par exemple, dans un système triphasé, les tensions phase-neutre sont les suivantes:

$$\begin{aligned} u_1(t) &= \sqrt{2}U\sin(\omega t) \\ u_2(t) &= \sqrt{2}U\sin(\omega t - 2\pi/3) \\ u_3(t) &= \sqrt{2}U\sin(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned}$$

qui peut être étendu à un système multiphasé. La relation générale définissant l'amplitude de la tension d'un système CA multiphasé après redressement est donnée par:

$$U_{dc} = a(\phi/\pi)\sin(\pi/\phi)U_{max} = kU_{max}$$

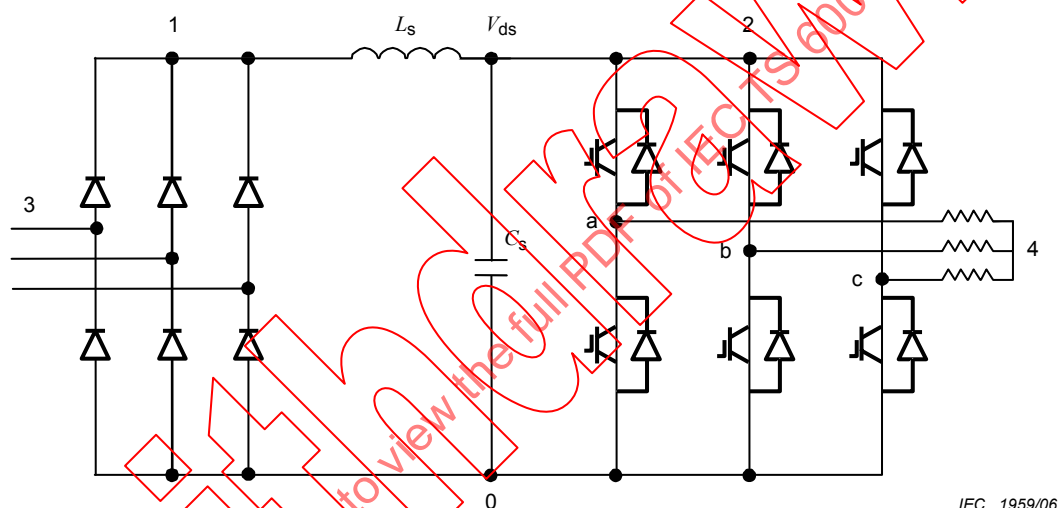
Annex A (informative)

Voltages at the terminals of the converter fed machine

A.1 Voltages at the terminals of the converter fed machine

A voltage converter, pulse width modulation (PWM), or vector motor 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 level depends on the rectified mains voltage or braking voltage level or power factor correction regulation voltage.

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



Key

- 1 Rectifier
- 2 PWM inverter
- 3 AC input
- 4 Motor winding

Figure A.1 – Circuit diagram for a converter/motor 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, the line to ground voltages are as follows:

$$\begin{aligned} u_1(t) &= \sqrt{2}U\sin(\omega t) \\ u_2(t) &= \sqrt{2}U\sin(\omega t - 2\pi/3) \\ u_3(t) &= \sqrt{2}U\sin(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned}$$

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

$$U_{dc} = a(\phi/\pi)\sin(\pi/\phi)U_{max} = kU_{max}$$

ϕ est le nombre de phases (minimum de 2).

Tensions de crête maximales contraignant l'isolation de l'enroulement statorique à différents endroits						
Type de tension	Phase/ masse	Entre phases	Entre spires	Exemple pour $U_{\text{ligne}} = 400 \text{ V}_{\text{eff}}$		
				Phase/ masse	Entre phases	Entre spires
Tension sinusoïdale, $U_{\text{ligne}} (U_{\text{eff}})$	$\sqrt{2} U_{\text{ligne}}/\sqrt{3}$	$\sqrt{2} U_{\text{ligne}}$	$(\sqrt{2} U_{\text{ligne}}/\sqrt{3})/N$	± 327	± 566	$\pm 327/N$
Convertisseur directement connecté à la machine (ou par un câble de longueur faible)	$\pm \frac{1}{2} U_{\text{dc}}$	$\pm U_{\text{dc}}$	Non définie	± 270	± 540	Non définie
Convertisseur connecté à la machine par un câble long	$\pm \frac{3 U_{\text{dc}}}{2}$	$\pm 2 U_{\text{dc}}$	Non définie	± 810	± 1080	Non définie
Convertisseur connecté à la machine par un câble long et phase de freinage non régénérative	$\geq \frac{3 U_{\text{dc}}}{2}$	$\geq 2 U_{\text{dc}}$	Non définie	≥ 810	≥ 1620	Non définie

N: le nombre de spires par phase.

NOTE Le calcul de la tension entre spires n'est pas toujours si simple (voir 5.4).

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 $\sqrt{2}U_{\text{phase}}/2$, with $\phi = 2$.

The voltage at the output of the dc 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

$$U_{\text{dc}} = 2(3/\pi)\sin(\pi/3)\sqrt{2}U_{\text{phase}} = 2(3/\pi)(\sqrt{3}/2)\sqrt{2}U_{\text{phase}} = (3/\pi)\sqrt{3}U_{\text{phase}}\sqrt{2} \text{ and}$$

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

Therefore, $U_{\text{dc}} = (3/\pi)\sqrt{2}U_{\text{line}}$

For example, if $U_{\text{line}} = 400 \text{ V}_{\text{r.m.s.}}$ then $U_{\text{dc}} = 400(3/\pi)\sqrt{2} = 540 \text{ V} = 1,35 U_{\text{line}} = 1,65 U_{\text{max}}$

The factor of 1,35 has been derived from theoretical considerations but in practice may be larger. For example, in cases of regeneration, the d.c. bus voltage maximum limit is the cut-off voltage in the drive, which will be much higher than the mains derived d.c. bus voltage. Examples of the maximum voltages appearing at the machine input terminals under different supply conditions are shown in Table A.1.

Table A.1 – Examples of maximum voltages stressing the insulation of the stator winding at different locations for a random wound star connected machine under different supply conditions (1 stage, 2 level converter)

Supply condition	Maximum peak voltages stressing the insulation of the stator winding at different locations					
	Phase to ground (frame)	Phase to phase	Turn to turn	Example for $U_{\text{line}} = 400 \text{ V}_{\text{r.m.s.}}$		
				Phase to ground	Phase to phase	Turn to turn (Y-connection)
Sinusoidal voltage, U_{line} ($U_{\text{r.m.s.}}$)	$\sqrt{2} U_{\text{line}}/\sqrt{3}$	$\sqrt{2} U_{\text{line}}$	$(\sqrt{2} U_{\text{line}}/\sqrt{3})/N$	± 327	± 566	$\pm 327/N$
Converter directly connected to the machine (or through a short cable)	$\pm \frac{1}{2} U_{\text{dc}}$	$\pm U_{\text{dc}}$	Undefined	± 270	± 540	Undefined
Converter connected to the machine through a long cable	$\pm \frac{3}{2} U_{\text{dc}}$	$\pm 2 U_{\text{dc}}$	Undefined	± 810	± 1080	Undefined
Converter connected to the machine through a long cable while the machine is braking	$\geq \frac{3}{2} U_{\text{dc}}$	$\geq 2 U_{\text{dc}}$	Undefined	≥ 810	≥ 1620	Undefined

N is the number of turns per phase.

NOTE The calculation of turn/turn voltages may not always be simple (see 5.4).