

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62068-2

Première édition
First edition
2001-08

**Systèmes d'isolation électrique –
Contraintes électriques produites par
des impulsions de tension appliquées
périodiquement –**

**Partie 2:
Etat de l'art**

**Electrical insulation systems (EIS) –
Electrical stresses produced
by repetitive impulses –**

**Part 2:
State of the art**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 62068-2:2001

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/catlg-f.htm) 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/JP.htm) 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/catlg-e.htm) 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/JP.htm) 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

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62068-2

Première édition
First edition
2001-08

**Systèmes d'isolation électrique –
Contraintes électriques produites par
des impulsions de tension appliquées
périodiquement –**

**Partie 2:
Etat de l'art**

**Electrical insulation systems (EIS) –
Electrical stresses produced
by repetitive impulses –**

**Part 2:
State of the art**

© IEC 2001 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
0 Introduction	8
0.1 Vue d'ensemble	8
0.2 Recherches associées aux développements de l'électronique de puissance	8
1 Domaine d'application	10
2 Génération des impulsions de surtension de choc	10
3 Phénomènes physiques liés au vieillissement	10
3.1 Décharges partielles (DP)	10
3.2 Effet de la polarité des tensions d'impulsion	10
3.3 Effet de la fréquence des tensions d'impulsion	12
3.4 Chargement de la surface	12
3.5 Autres effets importants	12
4 Machines tournantes	12
4.1 Etudes générales	12
4.2 Identification de la tension (des contraintes)	12
4.3 Modélisation	12
4.3.1 Distribution de tension	12
4.3.2 Vieillissement multicontraintes	12
4.4 Phénomènes physiques	14
4.5 Autres études associées	24
4.5.1 Décharges partielles	24
4.5.2 Mesures en ligne	26
4.5.3 Mesures hors ligne	26
4.5.4 Guide de fiabilité	26
5 Autre systèmes électriques	26
5.1 Transformateurs	26
5.2 Appareillage à isolation gazeuse (GIS)	28
5.3 Câbles d'alimentation	28

CONTENTS

FOREWORD.....	5
0 Introduction	9
0.1 Overview	9
0.2 Research trend due to power electronics development	9
1 Scope.....	11
2 Generation of overvoltage surges	11
3 Physical ageing phenomena	11
3.1 Partial discharges (PD)	11
3.2 Effect of the polarity of pulse voltages	11
3.3 Effect of frequency of pulse voltages	13
3.4 Surface charging	13
3.5 Other important effects	13
4 Rotating machines.....	13
4.1 General studies	13
4.2 Voltage (stress) identification	13
4.3 Modelling	13
4.3.1 Voltage distribution	13
4.3.2 Multistress aging	13
4.4 Physical Studies	15
4.5 Other related studies	25
4.5.1 Partial discharges	25
4.5.2 On-line measurements	27
4.5.3 Off-line measurements	27
4.5.4 Reliability guidelines	27
5 Other electrical systems	27
5.1 Transformers	27
5.2 Gas Insulated Switchgear (GIS)	29
5.3 Power cables	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE – CONTRAINTES ÉLECTRIQUES PRODUITES PAR DES IMPULSIONS DE TENSION APPLIQUÉES PÉRIODIQUEMENT –

Partie 2: Etat de l'art

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique 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. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur «l'état de l'art».

La CEI 62068-2, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 98 de la CEI: Systèmes d'isolation électrique (SIE)

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
98/122/CDV	98/129/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS (EIS) –
ELECTRICAL STRESSES PRODUCED BY REPETITIVE IMPULSES –****Part 2: State of the art**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The 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. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example, "state of the art".

IEC 62068-2, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 98: Electrical insulation systems (EIS).

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

Enquiry draft	Report on voting
98/122/CDV	98/129/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report 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 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication restera inchangée jusqu'en 2004. A cette date, la publication sera:

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

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 62068-2:2001

Withdrawn

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2004. At this date, the publication will be

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

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

Withdrawn
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 62068-2:2001

0 Introduction

0.1 Vue d'ensemble

Une série de recommandations faisant partie de la CEI 62068 sera développée pour permettre l'évaluation des systèmes d'isolation électriques (SIE) sous contraintes électriques produites par des impulsions de tension appliquées périodiquement, et provenant de dispositifs d'électronique de puissance comme les onduleurs de tension.

L'influence de l'application de ces impulsions répétitives sur les systèmes d'isolation électrique (SIE) a été étudiée de manière approfondie et a été révisée au cours de la dernière décade (voir par exemple la référence [1])¹⁾. Cependant, les phénomènes de vieillissement dus aux tensions de choc ne sont encore pas bien compris et restent controversés comme par exemple pour le développement de tests d'évaluation.

0.2 Recherches associées aux développements de l'électronique de puissance

Récemment, des composants haute tension et hautes fréquences comme les IGBT (Transistor bipolaire à grille isolée: Insulated gate bipolar transistor) ont été développés et utilisés comme par exemple les transmissions pour moteur.

Les systèmes d'isolation électrique utilisés dans les appareils alimentés par convertisseurs comme les bobinage de moteur, sont exposés à plusieurs tensions de chocs répétées associées à des fronts de tension rectangulaires soumis à une modulation de largeur d'impulsion (MLI), et la durée de vie peut rapidement être réduite par des processus de vieillissements thermiques et/ou électriques. Le nombre d'articles sur ce sujet a rapidement augmenté dans les années 1990 et dans le monde entier. Plus particulièrement, les caractéristiques du vieillissement et les mécanismes induits ont intensivement été mesurés et étudiés sur des systèmes d'isolation comprenant des fils émaillés, des vernis et des films utilisés dans les moteurs Basse Tension, mais aussi sur des isolants de câbles destinés aux moteurs linéaires. De nombreux articles ont été préparés sur la rupture diélectrique des transformateurs et des appareillages à isolation gazeuse (GIS = Gaz Insulated Switchgear) provoquée par la résonance entre ces appareils, en haute fréquence.

¹⁾ Le chiffre entre crochets se réfère à la bibliographie.

0 Introduction

0.1 Overview

A series of parts of IEC 62068 will be developed for the evaluation of electrical insulation systems (EIS) under electrical stresses produced by repetitive impulses from power electronics devices such as inverters.

The influence of these repetitive impulses on electrical insulation systems (EIS) has been intensively investigated and reviewed in the last decade (see for example reference [1])¹⁾. Nevertheless, the ageing phenomena due to the surges are not yet well understood and controversial as to evaluation testing.

0.2 Research trend due to power electronics development

Recently, high-voltage high-frequency power devices such as IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) have been developed and applied as motor drives.

Electrical insulation systems of inverter-fed apparatus such as motor windings are exposed to repetition of periodic surges coming from rectangular voltage under Pulse Width Modulation (PWM), and the insulation life may be shortened through thermal and/or electrical ageing. The number of papers on the subject increased rapidly in the 1990s all over the world. In particular, the ageing characteristics and mechanisms have been intensively measured and investigated on insulation systems including magnet wires, varnish and films used in low-voltage motors in addition to cable insulation for Maglev linear motors. Several papers have been prepared on the electrical breakdown of the transformer and GIS (Gas Insulated Switchgear) due to the resonance between the apparatus with high frequency.

¹⁾ The figures in square brackets refer to the bibliography.

SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE – CONTRAINTES ÉLECTRIQUES PRODUITES PAR DES IMPULSIONS DE TENSION APPLIQUÉES PÉRIODIQUEMENT –

Partie 2: Etat de l'art

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62068 est un rapport technique qui traite du dernier état de l'art connu des travaux de recherches développés sur les phénomènes induits par les contraintes électriques produites par des impulsions de tension appliquées périodiquement. Ce rapport vise à obtenir d'une part une meilleure compréhension des phénomènes induits et d'autre part à établir des méthodes d'évaluation fiables.

2 Génération des impulsions de surtension de choc

Les phénomènes de réflexion des impulsions de choc produites par la commutation d'un onduleur placé en extrémité d'un câble peuvent provoquer le doublement, voire le triplement de la valeur initiale de la tension crête appliquée [2] [3]. Cette multiplication dépend des conditions existant dans le circuit électrique, et sa valeur crête s'atténue pendant la propagation. La distribution du potentiel dans le bobinage des moteurs n'est pas non plus linéaire comme on le verra en 4.3.1. Comme la valeur dV/dt de la tension de choc de l'onduleur augmente, le rapport du potentiel dans la première spire des bobinages du côté ligne augmente.

3 Phénomènes physiques liés au vieillissement

La compréhension des mécanismes de défaillance sous contraintes impulsionnelles répétées peut conduire à la proposition de méthodes d'évaluation de meilleure qualité.

Un travail très important a été réalisé et a permis de déduire que les ruptures d'isolation étaient dues à un effet synergique de l'action des décharges partielles, de l'échauffement diélectrique et de la création d'une charge d'espace. Chaque analyse est plus ou moins en relation avec les phénomènes qui suivent. Bien que la référence détaillée ne soit pas donnée dans ces paragraphes, l'analyse de la partie suivante consacrée aux machines tournantes peut être source utile d'informations.

3.1 Décharges partielles (DP)

Les décharges partielles (DP) peuvent être un des mécanismes les plus défavorables aux systèmes d'isolation électriques. Les SIE des appareils basse tension comme les moteurs ont été conçus pour fonctionner sans décharge partielle avec des tensions alternatives inférieures au seuil d'apparition des décharges. Avec des impulsions de surtension, cependant, ces conditions d'absence de décharges partielles ne durent en général pas.

3.2 Effet de la polarité des tensions d'impulsion

L'effet de la polarité de la tension a été étudié avec un train d'impulsions bipolaires ou unipolaires (positives ou négatives). Le temps jusqu'à la rupture pour des impulsions positives est plus long que pour des impulsions négatives. La rupture se produit encore plus rapidement en bipolaire. Ce phénomène peut s'expliquer par la différence existant dans la formation de la charge d'espace.

ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS (EIS) – ELECTRICAL STRESSES PRODUCED BY REPETITIVE IMPULSES –

Part 2: State of the art

1 Scope

This part of IEC 62068 is a technical report dealing with the latest available state of the art of the research on the phenomena induced by the electrical stresses produced by repetitive impulses. This report aims at a better understanding and establishment of specified evaluation methods.

2 Generation of overvoltage surges

The reflections of the switching surge from an inverter at the cable terminal may double or triple the value of the original peak voltage [2] [3]. The multiplication depends upon the circuit condition and the peak value attenuates during propagation. The potential distribution along motor windings is not linear as mentioned in 4.3.1. As the dV/dt of the inverter surge increases, the potential ratio in the first turn of line-side windings increases.

3 Physical ageing phenomena

The understanding of failure mechanisms under repetitive impulse conditions can lead to better evaluation methods.

Extensive work has been carried out and indicated that the failures of insulation are due to a synergetic effect of partial discharge, dielectric heating and space charge formation. Each report is more or less related to the following phenomena. Although the detailed citation is not given in these subclauses, the analysis in the next clause on rotating machines may be useful.

3.1 Partial discharges (PD)

Partial Discharges (PD) can be one of the most influential phenomena of electrical insulation systems. The EIS of low-voltage apparatus such as motors have been designed for PD-free operation under a.c. voltage lower than PD inception voltage. Under over-potential impulse condition, however, the PD-free condition does not stand in general.

3.2 Effect of the polarity of pulse voltages

The polarity effect was examined under a bipolar and a unipolar pulse wave (positive and negative). The failure time under positive pulse is longer than that under negative pulses. The failure time under bipolar pulses is shortest. This phenomenon may be explained by the difference in space charge formation.

3.3 Effet de la fréquence des tensions d'impulsion

L'effet de la fréquence sur la durée de vie a été étudié. Au dessus d'une fréquence de seuil, le niveau de dégradation de l'isolation des fils augmente. Ce résultat a été expliqué par l'échauffement diélectrique dans la couche isolante.

3.4 Chargement de la surface

En utilisant des mesures de décroissance des charges sur différents matériaux diélectriques, le rôle de la polarité des impulsions est démontré [4].

3.5 Autres effets importants

Les effets de la température, de l'humidité, et/ou de l'air ambiant (tel que l'existence d'ozone) sont particulièrement étudiés du point de vue de leur impact sur la durée de vie des échantillons soumis à contraintes impulsionnelles répétitives.

4 Machines tournantes

4.1 Etudes générales

Ces références [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] décrivent principalement les conséquences d'une alimentation basse tension par onduleur pour les machines tournantes. Différentes règles sont données et sont associées à la longueur du câble, la nature du composant de commutation. Leurs auteurs préconisent la normalisation des essais. La référence [9] détaille les règles de réparation ou les spécifications destinées aux machines asynchrones.

4.2 Identification de la tension (des contraintes)

Les transistors IGBT peuvent avoir des temps de montée entre 50 ns et 200 ns. Par conséquent il est présenté une nouvelle étude, dédiée à l'application des contraintes électriques des systèmes d'isolation résultant de la distribution non linéaire de la tension dans le bobinage des machines tournantes quand ces systèmes sont soumis à des trains d'ondes à front raide de forme carrées dV/dt , répétitives (plutôt qu'à des essais de formes d'onde impulsionnelle). Les amplitudes et les temps de montée des impulsions générées par des variateurs de vitesse (ASD: Adjustable Speed Drive), induites sur les bornes des machines, sont mesurées. Ces références [12] [13] [14] [15] [16] [10] [17] [18] présentent les résultats obtenus (généralement sur les machines tournantes) de la distribution des tensions tant dans le bobinage qu'aux bornes de connexion du moteur.

Ces références donnent également des lois de comportement pour la détermination de la longueur de câble ou pour l'installation de transistor IGBT.

4.3 Modélisation

4.3.1 Distribution de tension

Ces références [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] donnent ou proposent des modèles capables d'expliquer la distribution de tension et la propagation des impulsions dans le bobinage en fonction de diverses caractéristiques de la machine (type de bobinage, type de câble, type d'email, diamètre du fil).

4.3.2 Vieillesse multicontraintes

Ces références [26] [27] sont les premières tentatives d'une compréhension du vieillissement des matériaux isolants utilisés dans le bobinage quand ils sont alimentés par des onduleurs. Ils sont de nature très générale. Récemment, une nouvelle approche a été formulée, résumant les nouveaux développements dans ce domaine et proposant l'identification exacte du rôle de chacun des paramètres [28].

3.3 Effect of frequency of pulse voltages

The frequency dependence of the failure time was examined. Above a threshold frequency, the degradation rate of the wire insulation increases. The result was explained with the dielectric heating in the insulation layer.

3.4 Surface charging

Using charge decay measurements on different dielectric materials, the role of the polarity of impulse is demonstrated [4].

3.5 Other important effects

The effects of temperature, moisture and/or ambient atmosphere such as ozone on the insulation life of the samples under repetitive impulse condition are reported.

4 Rotating machines

4.1 General studies

The papers [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] mainly describe the effect of feeding low-voltage rotating machines by inverters. Different laws related to cables length, the role of the nature of the switch, and the need for standardization of testing are given. Reference [9] indicates repair laws or specification for asynchronous machines.

4.2 Voltage (stress) identification

IGBT drives can have rise times of 50 ns to 200 ns. Thus, a new study on electrical stress of insulation systems due to the non-linear voltage distribution of mush-wound motors when subjected to repetitive steep dV/dt square-pulse waveforms (rather than impulse wave testing) is presented. Magnitude and rise time of the repetitive ASD (Adjustable Speed Drive) surge-voltage transient induced on the machine terminals are reviewed. Papers [12] [13] [14] [15] [16] [10] [17] [18] present results (generally on equipped rotating machines) of voltage distribution both in the winding and at the motor terminal.

They also give rules for cable length determination or IGBT installation.

4.3 Modelling

4.3.1 Voltage distribution

Papers [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] give or propose models able to explain voltage distribution and propagation in the winding according to different characteristics (type of winding, type of cable, type of enamel, wire gauge).

4.3.2 Multistress ageing

Papers [26] [27] are a first attempt to approach the ageing of winding insulating materials when fed by inverters. They are very general. A recent one intends to summarize new developments in this field and to propose an evaluation of the impact of the different parameters [28].

4.4 Phénomènes physiques

Tableau 1 – Résumé des caractéristiques principales des différentes alimentations utilisées pour étudier l'impact de fronts de tensions périodiques

Réf.	Forme de l'onde	Amplitude	Fréquence	Temps de montée (s) ou front de tension (kV/μs)	Rapport cyclique (%)	Essai typique	Critère de défaillance
[29]	Carré	±2,5 kV	60 Hz à 20 kHz	25 ns	10 à 50	$U_{pp} = 2000$ V 20 kHz 50 % $T = \text{variable}$	Chute de tension
[30]	Carré	±1,25 kV	60 Hz à 20 kHz	50 ns	10 à 50	$U_{pp} = 2000$ V 20 kHz 50 % $T = \text{variable}$	Chute de tension
[31]	Carré	±1,25 kV	60 Hz à 20 kHz	50 ns	10 à 50	$U_{pp} = 1900$ V 20 kHz 50 % $T = 90$ °C et 180 °C	Chute de tension
[32]	Sinus	2,5 kV	45 Hz à 6,5 kHz	–	–	$U_{pp} = 1750$ V 1050 Hz $T = \text{variable}$	Fusible
[33]	Sinus	4,5 kV 3 kV 1,8 kV	50 Hz 500 Hz 15 kHz	–	–	Toutes $T = 140$ °C	Fusible
[34]	Impulsions	±2 kV	5 kHz	0,2 / 20 μs 0,1 / 5 μs	Inconnu	$U_p = \pm 1400$ V	Passage d'un courant
[35]	Carré	±2 kV	10 kHz	1 kV / μs	10 à 50	$U_p = \pm 1500$ V 10 kHz 1 kV/μs $T = 20-80$ °C	Fusible Mesure du courant
[36]	Impulsions	22 kV-40 kV (crête)	18,5 kHz	0,2 μs / 6,5 μs	–	Toutes	Eclateur
[37]	Sinus	6 kV (crête) 6 kV (crête)	50, 250, 500 Hz 1, 2,5, 5 kHz	–	–	Toutes	Aucune
[38]	Impulsions	±2 kV	Jusqu'à 60 kHz	NG	16	Toutes	Inconnu
[39]	Carré Superposé sur une tension alternative 50 Hz Carré	0,5 U_0 (jusqu'à 920 V) ±5 kV	24 kHz 20 kHz	0,8 μs / 2 μs 3 μs	– 20	Celle ci Toutes	Aucune Inconnu
[40]	Impulsion	4 kV	ND	9 ns / 18 ns	ND	ND	ND
[41]	Carré	±7 kV	2 Hz à 20 kHz	0,3 μs / 1 μs	(largeur: 1-100 μs)	Unipolaire 1 kHz	Aucune
[42]	Carré	10 kV (crête-crête)	Jusqu'à 25 kHz	Jusqu'à 8 kV/μs	10-50	Toutes	Chute de tension
[43]	Impulsion	600 V + surtension (OS)	10 kHz	120 ns	Durée de OS = 2,5 μs	Celle ci	Aucun

NOTE La définition du front de montée (dV/dt)" n'est pas toujours la même. Parfois c'est la différence entre les valeurs à 10 % et à 90 % de la tension mesurée (ce qui est la véritable définition), alors que dans d'autre cas il s'agit simplement de V_{max} / t_{rise} .

OS signifie «Suroscillation»

ND signifie «Non décrit»;

Aucune signifie qu'aucune autre mesure que la durée de vie n'est entreprise;

Toutes signifie que la totalité de la configuration a été testée.

4.4 Physical studies

Table 1 – Summary of the main characteristics of the different power supplies used when studying the impact of periodical fronts

Ref.	Voltage waveform	Magnitude	Frequency	Rise time (s) or front (kV/μs)	Duty cycle (%)	Typical	Failure criteria
[29]	Square	±2,5 kV	60 Hz-20 kHz	25 ns	10-50	$U_{pp} = 2000$ V 20 kHz 50 % $T = \text{variable}$	Voltage collapse
[30]	Square	±1,25 kV	60 Hz-20 kHz	50 ns	10-50	$U_{pp} = 2000$ V 20 kHz 50 % $T = \text{variable}$	Voltage collapse
[31]	Square	±1,25 kV	60 Hz-20 kHz	50 ns	10-50	$U_{pp} = 1900$ V 20 kHz 50 % $T = 90$ °C and 180 °C	Voltage collapse
[32]	Sinus	2,5 kV	45 Hz-6,5 kHz	–	–	$U_{pp} = 1750$ V 1050 Hz $T = \text{variable}$	Fuse
[33]	Sinus	4,5 kV 3 kV 1,8 kV	50 Hz 500 Hz 15 kHz	–	–	All $T = 140$ °C	Fuse
[34]	Pulses	±2 kV	5 kHz	0,2 / 20 μs 0,1 / 5 μs	Unknown	$U_p = \pm 1400$ V	Current trip
[35]	Square	±2 kV	10 kHz	1 kV / μs	10-50	$U_p = \pm 1500$ V 10 kHz 1 kV/μs $T = 20-80$ °C	Fuse Measure of current
[36]	Pulses	22 kV-40 kV (peak)	18,5 kHz	0,2 μs / 6,5 μs	–	All	Circuit-breaker
[37]	Sinus	6 kV (peak) 6 kV (peak)	50, 250, 500 Hz 1, 2,5, 5 kHz	–	–	All	None
[38]	Pulses	12 kV	up to 60 kHz	NG	16	All	Unknown
[39]	Square superimposed on a.c. 50 Hz Square	0,5 kV (up to 920 V) ±5 kV	24 kHz 20 kHz	0,8 μs / 2 μs 3 μs	– 20	This one All	None Unknown
[40]	Pulse	4 kV	NG	9 ns / 18 ns	NG	NG	NG
[41]	Square	±7 kV	2 Hz - 20 kHz	0,3 μs / 1 μs	(width: 1-100 μs)	Unipolar 1 kHz	None
[42]	Square	10 kV (peak-peak)	up to 25 kHz	up to 8 kV / μs	10-50	All	Voltage collapse
[43]	Pulse	600 V + overshoot (OS)	10 kHz	120 ns	Duration of OS = 2,5 μs	This one	None

NOTE The definition of the rise front (dV/dt) is not always the same. Sometimes it is the difference between the values of 10 % and 90 % of the measured voltage (which is the real definition), whereas in other cases it is just V_{max} / t_{rise} .

OS: overshoot

NG: not given

None: measurement other than lifetime is performed;

All: the entire configuration has been tested;

Tableau 2 – Type d'échantillons et systèmes supposés être représentés

Réf.	Echantillons	Systèmes réels et applications envisagées
[29]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[30]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[31]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[32]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[33]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[34]	Bobines ou motorettes	MTBT, MTAO, BA, MTHT, BF
[35]	Paires twistées Films minces de polymère	MTBT, MTAO, BA
[36]	Bobines	MTHT, SI, BF
[37]	Films minces de polymère	Inconnu
[38]	Films minces de polymère	Composants TV
[39]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[40]	Paires twistées	MTBT, MTAO, BA
[41]	Inconnu	Air
[42]	Echantillons de bobines	MTBT, MTAO, BA, MTHT, BF
[43]	Couche sur couche	MTBT, MTAO, BA
«MTBT» est une Machine Tournante Basse Tension «TV» signifie Télévision «MTAO» est une Machine Tournante Alimentée par Onduleur «BA» signifie est à Bobinage Aléatoire «MTHT» est une Machine Tournante Haute Tension «SI» signifie Soumis à Impulsion de choc «BF» est un Bobinage Formé		

Table 2 – Type of samples and what they are supposed to represent

Ref.	Samples	Real systems and intended applications
[29]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[30]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[31]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[32]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[33]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[34]	Coils samples or motorettes	LVRM, RMFI, RW, HVRM, FW
[35]	Twisted pairs Thin polymer films	LVRM, RMFI, RW
[36]	Coils	HVRM, SS, FW
[37]	Thin polymer films	Not defined
[38]	Thin polymer films	TV-components
[39]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[40]	Twisted pairs	LVRM, RMFI, RW
[41]	Unknown	Air
[42]	Coil samples	LVRM, RMFI, RW, HVRM, FW
[43]	Layer to layer	LVRM, RMFI, RW
LVRM: low-voltage rotating machine TV: television RMFI: rotating machine fed by inverters RW: random wound HVRM: high-voltage rotating machine SS: subjected to surge FW: formed wound		

Table 3 – Type d'échantillons et de mesures réalisées

Réf.	Echantillons	Mesures
[29]	Paires twistées	Spectroscopie diélectrique, alternatif 60 Hz, PDIV, rupture diélectrique et durée de vie
[30]	Paires twistées	PDIV en alternatif 60 Hz, rupture diélectrique et durée de vie
[31]	Paires twistées	PDIV en alternatif 60 Hz, rupture diélectrique et durée de vie + impact de contraintes mécaniques (mise en forme)
[32]	Paires twistées	Mesure de durée de vie
[33]	Paires twistées	Mesure de durée de vie
[34]	Bobines ou motorettes	Mesure de durée de vie, mesure des DP en haute fréquence
[35]	Paires twistées Films minces de polymères	Mesure de durée de vie, spectroscopie diélectrique, Mesure du potentiel de surface
[36]	Bobines	Mesure de durée de vie
[37]	Films minces de polymères	Mesure de durée de vie
[38]	Films minces de polymères	Mesure de durée de vie
[39]	Paires twistées	Mesure de durée de vie
[40]	Paires twistées	Rupture diélectrique
[41]	Inconnu	Mesure des DP
[42]	Bout de bobinage	Mesure de durée de vie, Mesure des DP Mesure du potentiel de surface
[43]	Couche sur couche	TSC, Mesure des DP
TSC signifie «Courants stimulés thermiquement» (Thermally Stimulated Current) DP signifie «Mesures de décharges partielles»		

Table 3 – Type of samples and type of measurements performed

Ref.	Samples	Measurements
[29]	Twisted pairs	Dielectric spectroscopy, a.c. 60 Hz PD threshold, breakdown and life time measurements
[30]	Twisted pairs	AC 60 Hz PD threshold, breakdown and lifetime measurements
[31]	Twisted pairs	AC 60 Hz PD threshold, breakdown and lifetime measurements + impact of mechanical stress
[32]	Twisted pairs	Lifetime measurements
[33]	Twisted pairs	Lifetime measurements
[34]	Coils samples or motorettes	Lifetime measurements, high-frequency PD measurements
[35]	Twisted pairs Thin polymer films	Lifetime measurements, dielectric spectroscopy, Surface potential measurements
[36]	Coils	Lifetime measurements
[37]	Thin polymer films	Lifetime measurements
[38]	Thin polymer films	Lifetime measurements
[39]	Twisted pairs	Lifetime measurements
[40]	Twisted pairs	Breakdown measurements
[41]	Unknown	PD measurements
[42]	Coil samples	Life-time measurements, PD measurements, Surface potential measurements
[43]	Layer to layer	TSC, PD measurements
TSC: thermally stimulated current PD: partial discharge measurements		

Tableau 4 – Résumé des principaux résultats

Réf.	Echantillons	Principaux résultats
[29]	Paires twistées	Développement de nouveaux émaux
[30]	Paires twistées	Développement de nouveaux émaux
[31]	Paires twistées	Développement de nouveaux émaux
[32]	Paires twistées	Développement de nouveaux émaux
[33]	Paires twistées	Développement de nouveaux émaux
[34]	Bobines ou motorettes	Définition de la fiabilité ($V < PDIV$ = aucun danger) Rôle de la fréquence, t_r et t_f sur PDIV Rôle de la température, charge de surface
[35]	Paires twistées Films minces de polymères	Deux types de vieillissement, le premier impliquant les DP, le second l'existence d'une charge d'espace, Création d'une charge d'espace surfacique
[36]	Bobines	Définition des tensions admissibles.
[37]	Films minces de polymères	Augmente la connaissance des DP
[38]	Films minces de polymères	Deux types de vieillissement, le premier impliquant les DP, le second l'existence d'une charge d'espace,
[39]	Paires twistées	Durée de vie diminue quand on utilise un onduleur
[40]	Paires twistées	Développement de générateur
[41]	Inconnu	Influence du temps séparant des DP
[42]	Bout de bobines	Influence du temps de repos sur la durée de vie, pas d'influence de la forme de tension sur le PDIV
[43]	Couche sur couche	Existence d'une charge d'espace
DIV signifie «Tension d'apparition des décharges» DP signifie «Mesures de décharges partielles»		

Table 4 – Summary of the main results

Ref.	Samples	Main results
[29]	Twisted pairs	Development of a new enamel
[30]	Twisted pairs	Development of a new enamel
[31]	Twisted pairs	Development of a new enamel
[32]	Twisted pairs	Development of a new enamel
[33]	Twisted pairs	Development of a new enamel
[34]	Coils samples or motorettes	Assessment of reliability ($V < DIV$ = no risk of failure) Role of frequency, t_r and t_f on DIV Role of the temperature, surface charges
[35]	Twisted pairs Thin polymer films	Two main regions of ageing one related to PD action and the other to space charge existence, Surface space charge built up
[36]	Coils	Voltage-level requirement for surge limitation
[37]	Thin polymer films	Increase PD characteristics knowledge
[38]	Thin polymer films	Two main regions of ageing: one related to PD action and the other to space charge existence
[39]	Twisted pairs	Lifetime is reduced when using inverter
[40]	Twisted pairs	Development of a new generator
[41]	Unknown	Influence of the time between two PDs
[42]	Coil samples	Influence of the rest time on lifetime, no influence of the voltage shape on DIV
[43]	Layer to layer	Space charge existence
DIV: discharge inception voltage		
PD: partial discharge measurements		

Tableau 5 – Résultats de l'étude: Dépendance des résultats observés des caractéristiques de la tension

Réf.	Amplitude	Fréquence	Front ou temps	Polarité
[29]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$ pour $f < 5$ kHz $L \propto c/U^2$ pour $f > 5$ kHz	$\propto f(t_r)$, $t_r < 80$ ns $\propto f(t_r)$, $t_r > 80$ ns	L en bipolaire plus court qu'en unipolaire
[30]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	ND	ND
[31]	$L \propto 1/V^n$	ND	ND	ND
[32]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	NE	NE
[33]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	–	–
[34]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	PDIV = $V_i = f(t_r \text{ et } t_f)$ ($V_i \downarrow$, $t_f \uparrow$, $V_i \uparrow$, $t_r \uparrow$)	L en bipolaire plus court qu'en unipolaire
[35]	$L \propto 1/V^n$ pour $U > V_i$ $L = f$ (de la nature du matériau) pour $U < V_i$	$L \propto b/f$ pour $U > V_i$ $L = f$ (de la nature du matériau) pour $U < V_i$	L indépendant de dV/dt pour $U > V_i$ L dépendant de dV/dt pour $U < V_i$	L en bipolaire plus court qu'en unipolaire
[36]	$L \propto 1/V^n$	NE	Influence des éclateurs	NE
[37]	ND	$L \propto f^{-m}$	–	–
[38]	2 régions de vieillissement $L \propto 1/V^n$ pour $U > V_i$ $L \propto f$ pour $U < V_i$	$L \propto$ nombre d'impulsions $L \propto f^{-1}$	Pas ou faible	ND
[39]	$L \propto 1/V^n$	$L \downarrow$ quand $f \uparrow$	Influence du PDIV ($\uparrow$ quand $t_r \uparrow$)	ND
[40]	–	–	–	–
[41]	$Q_{\max} \uparrow$	–	–	–
[42]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto$ nombre de pulses	Pas d'influence	Faible ou nul
[43]	–	–	–	–
NOTE Les test décrits dans [29] à [34] et [36] à [43] sont toujours développés pour des tensions $V > V_i$. b, c: sont des constantes L: est la durée de vie NE: signifie «Non étudié» ND: signifie «Non décrit» $Q_{\max}$: est la charge maximale pendant la décharge t_r: est le temps de montée t_f: est le temps de descente V_i: est la tension de seuil de décharge V_b: est la tension de rupture $\propto$: signifie «proportionnel à» $\uparrow$: signifie augmente $\downarrow$: signifie diminue				

Table 5 – Output of the study: Dependence of the observed results of voltage characteristics

Ref.	Voltage magnitude	Frequency	Front or rise time	Polarity
[29]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$ for $f < 5$ kHz $L \propto c/U^2$ for $f > 5$ kHz	$\propto f(t_r)$, $t_r < 80$ ns $\propto f(t_r)$, $t_r > 80$ ns	L under bipolar voltage shorter than under unipolar
[30]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	NG	NG
[31]	$L \propto 1/V^n$	NG	NG	NG
[32]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	NS	NS
[33]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	–	–
[34]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto b/f$	DIV = $V_i = f(t_r \text{ and } t_f)$ ($V_i \downarrow$, $t_f \uparrow$, $V_i \uparrow$, $t_r \uparrow$)	L under bipolar voltage shorter than under unipolar
[35]	$L \propto 1/V^n$ for $U > V_i$ $L = f$ (of the nature of the material) for $U < V_i$	$L \propto b/f$ for $U > V_i$ $L = f$ (of the nature of the material) for $U < V_i$	L independent of dV/dt for $U > V_i$ L dependent of dV/dt for $U < V_i$	L under bipolar voltage shorter than under unipolar
[36]	$L \propto 1/V^n$	NS	Influence on arresters	NS
[37]	NG	$L \propto f^{-m}$	–	–
[38]	Two ageing regions $L \propto 1/V^n$ for $U > V_i$ $L \propto f$ for $U < V_i$	$L \propto$ number of pulses $L \propto f^{-1}$	No or small impact	NG
[39]	$L \propto 1/V^n$	$L \downarrow$ when $f \uparrow$	Influence on DIV ($\uparrow$ when $t_r \uparrow$)	NG
[40]	–	–	–	–
[41]	$Q_{\max} \uparrow$	–	–	–
[42]	$L \propto 1/V^n$	$L \propto$ number of pulses	No influence	Small or no impact
[43]	–	–	–	–
NOTE The tests performed by [29] to [34] and [36] to [43] were always developed for $V > V_i$. b, c: constants L: lifetime NS: not studied NG: not given $Q_{\max}$: maximum charge during the discharge t_r: rise time t_f: fall time V_i: DIV V_b: voltage breakdown $\propto$: proportional to $\uparrow$: increase $\downarrow$: decrease				

Tableau 6 – Résultats de l'étude: Dépendance des résultats observés sur d'autres paramètres

réf.	Température	Imprégnation	Divers
[29]	$L \propto 1/T$	Compatibilité des nouveaux matériaux avec les vernis	«Pas de relation directe entre V_b et L » PDIV plus faible
[30]	$L \propto 1/T$	Double imprégnation multiplie la durée de vie par 25	PDIV plus faible
[31]	$L \propto 1/T$	–	Rôle du bobinage
[32]	Pas de variation jusqu'à 250 °C	–	–
[33]	NE	L décroît quand imprégné	PDIV plus faible
[34]	NE	L croît quand imprégné	«Pas de différence entre un pur sinus et un carré en ce qui concerne la rigidité»
[35]	$L \downarrow$ quand $T \uparrow$	L décroît quand imprégné	–
[36]	–	–	Rôle des protections
[37]	Influence de la fréquence sur l'augmentation de T	–	Q_{max} et le nombre de pulsés $\uparrow$ quand $f \uparrow$
[38]	Influence de la fréquence sur l'augmentation de T	–	–
[39]	$L \downarrow$ quand $T \uparrow$	L croît quand imprégné	–
[40]	–	–	–
[41]	–	–	$Q_{max} \uparrow$ quand durée $\uparrow$
[42]	–	–	Rôle du temps de repos
[43]	–	–	Démonstration claire de l'existence d'une charge d'espace
«L» est la durée de vie T est la température $PDIV$ est la tension de seuil de décharge NS signifie "n'est pas étudié" Q_{max} est la charge maximale pendant la décharge «V_b» est la tension de rupture			

4.5 Autres études associées

4.5.1 Décharges partielles

Existence de décharges partielles (DP) dans les machines tournantes alimentées par onduleur [44] [45]

Caractéristiques des DP pour les tensions sinusoïdales en hautes fréquences [46] [47]

Table 6 – Output of the study: Dependence of the observed results on other parameters

Ref.	Temperature	Impregnation	Miscellaneous
[29]	$L \propto 1/T$	Compatibility between the new enamel and varnish	No direct relation between V_b and L DIV lower
[30]	$L \propto 1/T$	Double dipping multiplies life by 25	DIV lower
[31]	$L \propto 1/T$	–	Role of the deformation during winding
[32]	Unchanged up to 250 °C	–	–
[33]	NS	L decreases when impregnated	DIV lower
[34]	NS	L increases when impregnated	No difference between pure sinus and square as regards breakdown
[35]	$L \downarrow$ when $T \uparrow$	L decreases when impregnated	–
[36]	–	–	Role of surge protection
[37]	Influence of frequency on T rise	–	$Q_{\max}$ and discharge pulse number $\uparrow$ when $f \uparrow$
[38]	Influence of frequency on T rise	–	–
[39]	$L \downarrow$ when $T \uparrow$	L increases when impregnated	–
[40]	–	–	–
[41]	–	–	$Q_{\max} \uparrow$ when width $\uparrow$
[42]	–	–	Role of the rest time
[43]	–	–	Clear demonstration of SC existence.
L : lifetime T : temperature DIV: discharge inception voltage NS: not studied $Q_{\max}$: maximum charge during the discharge V_b : the voltage breakdown			

4.5 Other related studies

4.5.1 Partial discharges

PD existence in rotating machines fed by inverters [44] [45]

PD characteristics under high-frequency sinusoidal voltages [46] [47]

4.5.2 Mesures en ligne

La référence [48] propose une surveillance fondée sur la somme des tensions entre ligne et neutre. Selon cette technique il serait également possible d'apprécier la défaillance des semi-conducteurs utilisant cette méthode.

La référence [49] suggère que le vecteur courant d'espace soit un bon marqueur du vieillissement.

La référence [50] propose, et a développé un système capable, de compter le nombre de tensions de choc et de détecter les décharges partielles pendant les tests de fonctionnement tant en ligne qu'hors ligne.

La référence [51] donne la possibilité d'identifier et de localiser les origines des DP grâce à leur modélisation.

4.5.3 Mesures hors ligne

Les références [52] [53] recommandent et détaille un test d'aptitude à supporter des impulsions, et un test en impulsion concernant le développement de décharges de type couronne entre spires.

La référence [54] propose une méthode permettant de rechercher la possibilité de tester l'effet de couronne grâce à un essai en impulsion.

4.5.4 Guide de fiabilité

Les références [55] [56] propose un choix du câble d'alimentation assurant une liaison correcte entre moteur et onduleur.

Les références [57] [58] [59] proposent des limitations concernant les impulsions.

Les références [60] [61] [62] proposent et décrivent des filtres non dissipatifs susceptibles de réduire les surtensions à l'entrée des bornes des machines.

5 Autre systèmes électriques

5.1 Transformateurs ¹⁾

Les références [63] [64] décrivent des études sur l'alternatif avec des chocs de foudre (onde 1,2/50 μ s) pour des combinaisons différentes d'huile et de papier. Les principales conclusions sont qu'aucun «phénomènes de décharge partielle en courant alternatif n'est déclenché par des tensions de choc de foudre lorsque la tension de 50 Hz pré-appliquée est inférieure à 50 % de la valeur efficace de la tension alternative d'apparition des décharges partielles pour toutes les combinaisons de polarité, et que les valeurs crêtes de claquage de la tension superposée sont réduites de 10 % à 19 % pour une seule impulsion de choc de foudre appliquée avec un faible facteur de remplissage diélectrique solide à liquide (SLPF: solid-to-liquid dielectric packing fraction) de papier imprégné d'huile dans un modèle d'échangeur intermédiaire de chaleur, mais la différence de tension de claquage existant entre la tension superposée et l'unique choc de foudre est très petite pour un fort facteur SLPF avec le papier imprégné d'huile, c'est-à-dire supérieur d'environ 30 %».

La référence [65] démontre le rôle de la distribution de tension qui peut excéder la valeur crête pendant la propagation (ces résultats sont observés dans les machines tournantes).

¹ Les impulsions sont utilisées comme outils mais il est possible d'en déduire les tenues intéressantes.

4.5.2 On-line measurements

Reference [48] proposes a condition monitoring based on the sum of line-to-neutral voltage. According to it, it would also be possible to detect semiconductor switch faults using this method.

Reference [49] suggests that the space vector current is a good indicator of ageing.

Reference [50] proposes to, and has developed, a system able to count the number of surges and to detect PD during both off-line and on-line operations.

Reference [51] claims that it is possible to identify PD sources and location via their modelling.

4.5.3 Off-line measurements

References [52] [53] recommend and discuss surge withstand capability and test in surge as regards corona between turns.

Reference [54] proposes a method to investigate the possibility of corona testing via surge test.

4.5.4 Reliability guidelines

References [55] [56] propose a selection of power cable assuring a correct link between motor and inverter.

References [57] [58] [59] propose surge limitation.

References [60] [61] [62] propose and describe non-dissipative filters able to reduce overvoltage at the motor terminals.

5 Other electrical systems

5.1 Transformers¹⁾

References [63] [64] describe studies of a.c. with lightning impulses (1,2/50 μ s) for combination of oil and paper. The main conclusions are the following: no "a.c. PD phenomena are triggered by lightning impulse voltage when the preapplied 50 Hz voltage is less than 50 % of the r.m.s. value of the a.c. PD inception voltage for all combinations of polarities, and peak breakdown values of the superimposed voltage are reduced by 10 % to 19 % for a single applied lightning impulse with a low solid-to-liquid dielectric packing fraction (SLPF) for oil-impregnated paper in the intercooler model, but the difference in breakdown voltage between the superimposed voltage and a single lightning impulse is very small for a high SLPF for oil-impregnated paper, i.e. above about 30 %".

Reference [65] demonstrates the role of the voltage distribution that can exceed the peak value during propagation (such results are observed in rotating machines).

¹⁾ Impulse voltage is used as a tool but interesting behavior may be derived.

Les références [66] [67] proposent une méthode de contrôle utilisant des impulsions de faible niveau de tension pour déterminer la défaillance des bobines et distinguer leur localisation (entre spires ou entre spires et masse).

Certains travaux ont été réalisés dans des transformateurs à isolation gazeuse avec des impulsions afin de déterminer le rôle des gaz [68].

5.2 Appareillage à isolation gazeuse (GIS)

Les références [69] [70] étudie la dégradation de modèles d'entretoises sous contraintes répétées. La tension de seuil de décharge (DIV) augmente avec le nombre d'impulsions subies alors que la tension V_b décroît.

La référence [71] est une justification de l'utilisation d'impulsions de tension.

La référence [72] propose l'électroluminescence, (c'est-à-dire la luminescence lors de l'application d'un champ électrique), comme outil de détection des décharges partielles sous tensions impulsionnelle dans des GIS.

La référence [73] montre qu'au point triple, l'impact de la forme d'onde de la tension est faible en comparaison des propriétés du matériau.

5.3 Câbles d'alimentation

Il existe un nombre limité de recherches quant à l'influence de contraintes impulsionnelles sur l'isolation des câbles. L'influence du câble d'alimentation des bobines de propulsion des moteurs synchrones linéaires a été étudiée. Dans ce cadre un générateur de tension a été développé, et la tension de claquage ainsi que la longueur des arborescences au cheminement des feuilles de polyéthylène réticulé (XPLE) ont été étudiés [74].

References [66] [67] propose a monitoring method using low-voltage impulse to determine the coils collapse and to distinguish the failure location (turn-to-turn or turn-to-ground).

Some work has also been carried out on gas-insulated transformers [68] under impulse voltage in order to demonstrate the role of gas.

5.2 Gas Insulated Switchgear (GIS)

References [69] [70] study the degradation of insulating spacer models in repeating impulse voltage. DIV increases against the number of impulse voltage whereas V_b decreases.

Reference [71] is a justification for using impulse voltages.

Reference [72] proposes electroluminescence (i.e., the luminescence under the application of an electric field) as a tool to detect PD under impulse voltage in GIS.

Reference [73] shows that at the triple point the impact of the voltage waveform is small compared to the material properties.

5.3 Power cables

There is a limited research on the influence of inverter surge on cable insulation. The influence of the feeder cable of propulsion coils of linear synchronous motor was investigated. For this purpose, a voltage generator was developed and the breakdown voltage and the elongation of the water tree of XLPE (cross-linked polyethylene) pressed sheet were investigated [74].

BIBLIOGRAPHIE

[1]

The Influence of Inverter Surges on Electrical Insulation Systems,
Technical Report of IEE Japan, N°739, 1999 (*en japonais*)

[2]

Surge propagation from PWM inverters (*en japonais*)

E.Moriyama and M.Moriyasu

IEE Japan Rotating machine investigation committee, vol.RM-96, No105, pp177-187,1996.

[3]

Steep-front switching voltage transients and their distribution in motor windings

Part 2: Distribution of steep-front switching voltage transient in motor windings

K.J. Cornick and T.R. Thompson

IEE Proc. 129, Pt B, 2, 56, 1982

[4]

Surface charging and charge decay in solid dielectrics,

Neves-A; Martins-HJA, Centro de Pesquisas de Energia Eletrica, Rio de Janeiro, Brazil,

Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, IEEE, New York, NY, USA; 1996,p.782-6 Vol.2

[5]

The analysis of the motor winding voltage stress by inverter switching,

Jong-Gyeum-Kim; Eun-Woong-Lee; Su-Hyun-Baek; Soon-Chan-Hong; Gyu-Ha-Choe,

Transactions-of-the-Korean-Institute-of-Electrical-Engineers, Vol.46, no.6; June 1997; p.869-74

[6]

System and equipment problems associated with variable frequency drives in the pulp and paper industry,

Khan-S; El-Dehaibi-N, Sandwell Inc., Montreal, Que., Canada,

Conference Record of 1995 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference IEEE, New York, NY, USA; 1995, p.131-6

[7]

A practical guide to understanding bearing damage related to PWM drives,

Macdonald-D; Gray-W,

Conference Record of 1998 Annual Pulp and Paper Industry Technical) IEEE, New York, NY, USA; 1998,p.159-65

[8]

Insulation systems available for PWM inverter fed motors for low voltage pulp and paper applications,

Bonnett-AN, US Electrical Motors, Emerson Electric Co., St. Louis, MO, USA,

Conference Record of 1997 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference), IEEE, New York, NY, USA; 1997,p.17-28

[9]

Electric motor repair for low voltage induction motors in PWM inverter duty environments,

Penrose-HW, Dreisilker Electric Motors Inc., Glen Ellyn, IL, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference, New York, NY, USA; 1995; pp.841-8

[10]

Peak voltages applied to an induction motor fed by a PWM inverter through a screened cable,

Kawkabani-B; Kehtari-F, Dept. of Electrical Engineering, Swiss Federal Inst. of Technology, Lausanne, Switzerland,

European Power Electronics Chapter Symposium, Electrical Drive Design and Applications.

Ecole Polytechnique. Federale de Lausanne, Lausanne, Switzerland; 1994;p.73-7

[11]

Electrical stresses applied to stator insulation in low-voltage induction motors fed by PWM drives,

Mbaye-A; Bellomo-JP; Lebey-T; Oraison-JM; Peltier-F, Lab. de Genie, CNRS, Toulouse, France,

IEE-Proceedings-Electric-Power-Applications. Vol.144, no.3; May 1997; p.191-8

BIBLIOGRAPHY

[1]

The Influence of Inverter Surges on Electrical Insulation Systems,
Technical Report of IEE Japan, N°739, 1999 (*in japanese*)

[2]

Surge propagation from PWM inverters (in Japanese)

E.Moriyama and M.Moriyasu

IEE Japan Rotating machine investigation committee, vol.RM-96, No105, pp177-187,1996.

[3]

Steep-front switching voltage transients and their distribution in motor windings

Part 2: Distribution of steep-front switching voltage transient in motor windings

K.J. Cornick and T.R. Thompson

IEE Proc. 129, Pt B, 2, 56, 1982

[4]

Surface charging and charge decay in solid dielectrics,

Neves-A; Martins-HJA, Centro de Pesquisas de Energia Eletrica, Rio de Janeiro, Brazil,

Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, IEEE, New York, NY, USA; 1996,p.782-6 Vol.2

[5]

The analysis of the motor winding voltage stress by inverter switching,

Jong-Gyeum-Kim; Eun-Woong-Lee; Su-Hyun-Baek; Soon-Chan-Hong; Gyu-Ha-Choe,

Transactions-of-the-Korean-Institute-of-Electrical-Engineers, Vol.46, no.6; June 1997; p.869-74

[6]

System and equipment problems associated with variable frequency drives in the pulp and paper industry,

Khan-S; El-Dehaibi-N, Sandwell Inc., Montreal, Que., Canada,

Conference Record of 1995 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference IEEE, New York, NY, USA; 1995, p.131-6

[7]

A practical guide to understanding bearing damage related to PWM drives,

Macdonald-D; Gray-W,

Conference Record of 1998 Annual Pulp and Paper Industry Technical) IEEE, New York, NY, USA; 1998,p.159-65

[8]

Insulation systems available for PWM inverter fed motors for low voltage pulp and paper applications,

Bonnett-AN, US Electrical Motors, Emerson Electric Co., St. Louis, MO, USA,

Conference Record of 1997 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference), IEEE, New York, NY, USA; 1997,p.17-28

[9]

Electric motor repair for low voltage induction motors in PWM inverter duty environments,

Penrose-HW, Dreisilker Electric Motors Inc., Glen Ellyn, IL, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference, New York, NY, USA; 1995; pp.841-8

[10]

Peak voltages applied to an induction motor fed by a PWM inverter through a screened cable,

Kawkabani-B; Kehtari-F, Dept. of Electrical Engineering, Swiss Federal Inst. of Technology, Lausanne, Switzerland,

European Power Electronics Chapter Symposium, Electrical Drive Design and Applications.

Ecole Polytechnic. Federale de Lausanne, Lausanne, Switzerland; 1994;p.73-7

[11]

Electrical stresses applied to stator insulation in low-voltage induction motors fed by PWM drives,

Mbaye-A; Bellomo-JP; Lebey-T; Oraison-JM; Peltier-F, Lab. de Genie, CNRS, Toulouse, France,

IEE-Proceedings-Electric-Power-Applications. Vol.144, no.3; May 1997; p.191-8

[12]

IGBT-driven motors: impact of IGBT/PWM drive on low voltage motor windings. II. Test results, Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Rockwell Automation/Reliance Electric, Cleveland, OH, USA, Power conversion & Intelligent-Motion, Vol.24, no.11; Nov. 1998; p.30-2, 34-6, 39-42

[13]

Analysis of faulted induction motor fed with PWM inverter, Ojo-O; Bhat-I, Tennessee Technology Univ., Cookeville, TN, USA, Conference Record of the IEEE Industry Applications Society Annual IEEE, New York, NY, USA; 1992; 2 Vol.pp.647-55 Vol.1

[14]

Effect of surge voltage risetime on the insulation of low-voltage machines fed by PWM converters, Melfi-M; Sung-AMJ; Bell-S; Skibinski-GL, Res. Center, Rockwell Automation Reliance Electric, Euclid, OH, USA, IEEE-Transactions-on-Industry-Applications. Vol.34, no.4; July-Aug. 1998; p.766-75

[15]

Cable characteristics and their influence on motor over-voltages, Skibinski-G; Leggate-D; Kerkman-R, Rockwell Automation-Allen Bradley, Mequon, WI, USA, APEC '97. Twelfth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. Conference Proceedings IEEE, New York, NY, USA; 1997, p.114-21 Vol.1

[16]

Effect of surge voltage risetime on the insulation of low voltage machines fed by PWM converters, Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Reliance Electric Co., Euclid, OH, USA, IAS '97. Conference Record of the 1997 IEEE Industry Applications Conference Thirty-Second IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1997, pp.239-46 Vol.1

[17]

Analysis of steep-fronted voltage distribution and turn insulation failure in inverter-fed form-wound AC motor, Yifan-Tang, Motor Technology Center, Emerson Electric Co., St. Louis, MO, USA, IEEE-Transactions-on-Industry-Applications. Vol.34, no.5; Sept.-Oct. 1998; p.1088-96

[18]

The analysis of the motor winding voltage stress by inverter switching, Jong-Gyeum-Kim; Eun-Woong-Lee; Su-Hyun-Baek; Soon-Chan-Hong; Gyu-Ha-Choe, Transactions-of-the-Korean-Institute-of-Electrical-Engineers. Vol.46, no.6; June 1997; p.869-74

[19]

IGBT-driven motors. Impact of IGBT/PWM drive on low voltage motor windings. I. Motor characteristics, Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Rockwell Automation, Cleveland, OH, USA, Power conversion-&-Intelligent-Motion. Vol.24, no.10; Oct. 1998; p.26, 28-35

[20]

Design methodology of a cable terminator to reduce reflected voltage on AC motors, Skibinski-G, Allen Bradley Standard Drives. Div., Mequon, WI, USA, IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference, Thirty-first IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1996;p.153-61 Vol.1

[21]

A model for predicting voltage endurance of magnet wire film subjected to inverter PWM voltage waveforms with transient overshoots, Hyypio-DB, Marathon Electric, Wausau, WI, USA, APEC '97. Twelfth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. Conference Proceedings IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.24-30 Vol.1

[22]

Resonant tank motor model for voltage reflection simulations with PWM drives, Schlegel-D; Wrate-G; Kerkman-R; Skibinski-G, Rockwell Automation, Mequon, WI, USA, IEEE International Electrical Machines and Drives Conference. IEMDC'99. Proceedings IEEE, Piscataway, NJ, USA; 1999; p.463-5

[12]

IGBT-driven motors: impact of IGBT/PWM drive on low voltage motor windings. II. Test results, Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Rockwell Automation/Reliance Electric, Cleveland, OH, USA, Power conversion & Intelligent-Motion, Vol.24, no.11; Nov. 1998; p.30-2, 34-6, 39-42

[13]

Analysis of faulted induction motor fed with PWM inverter, Ojo-O; Bhat-I, Tennessee Technology Univ., Cookeville, TN, USA, Conference Record of the IEEE Industry Applications Society Annual IEEE, New York, NY, USA; 1992; 2 Vol.pp.647-55 Vol.1

[14]

Effect of surge voltage risetime on the insulation of low-voltage machines fed by PWM converters, Melfi-M; Sung-AMJ; Bell-S; Skibinski-GL, Res. Center, Rockwell Automation Reliance Electric, Euclid, OH, USA, IEEE-Transactions-on-Industry-Applications. Vol.34, no.4; July-Aug. 1998; p.766-75

[15]

Cable characteristics and their influence on motor over-voltages, Skibinski-G; Leggate-D; Kerkman-R, Rockwell Automation-Allen Bradley, Mequon, WI, USA, APEC '97. Twelfth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. Conference Proceedings IEEE, New York, NY, USA; 1997, p.114-21 Vol.1

[16]

Effect of surge voltage risetime on the insulation of low voltage machines fed by PWM converters, Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Reliance Electric Co., Euclid, OH, USA, IAS '97. Conference Record of the 1997 IEEE Industry Applications Conference Thirty-Second IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1997, pp.239-46 Vol.1

[17]

Analysis of steep-fronted voltage distribution and turn insulation failure in inverter-fed form-wound AC motor, Yifan-Tang, Motor Technology Center, Emerson Electric Co., St. Louis, MO, USA, IEEE-Transactions-on-Industry-Applications. Vol.34, no.5; Sept.-Oct. 1998; p.1088-96

[18]

The analysis of the motor winding voltage stress by inverter switching, Jong-Gyeum-Kim; Eun-Woong-Lee; Su-Hyun-Baek; Soon-Chan-Hong; Gyu-Ha-Choe, Transactions-of-the-Korean-Institute-of-Electrical-Engineers. Vol.46, no.6; June 1997; p.869-74

[19]

IGBT-driven motors. Impact of IGBT/PWM drive on low voltage motor windings. I. Motor characteristics, Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Rockwell Automation, Cleveland, OH, USA, Power conversion-&-Intelligent-Motion. Vol.24, no.10; Oct. 1998; p.26, 28-35

[20]

Design methodology of a cable terminator to reduce reflected voltage on AC motors, Skibinski-G, Allen Bradley Standard Drives. Div., Mequon, WI, USA, IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference, Thirty-first IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1996;p.153-61 Vol.1

[21]

A model for predicting voltage endurance of magnet wire film subjected to inverter PWM voltage waveforms with transient overshoots, Hyypio-DB, Marathon Electric, Wausau, WI, USA, APEC '97. Twelfth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. Conference Proceedings IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.24-30 Vol.1

[22]

Resonant tank motor model for voltage reflection simulations with PWM drives, Schlegel-D; Wrate-G; Kerkman-R; Skibinski-G, Rockwell Automation, Mequon, WI, USA, IEEE International Electrical Machines and Drives Conference. IEMDC'99. Proceedings IEEE, Piscataway, NJ, USA; 1999; p.463-5

[23]

An equivalent circuit for calculation of interturn voltage distribution of stator windings in the presence of slot discharges.

Islam-S; Ledwich-G, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Newcastle Univ., NSW, Australia,
Proceedings of 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials
IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.507-10 Vol.1

[24]

High voltage motor winding insulation for high power adjustable speed drives fed by IGBT converter
K. Bauer et al.

8th BEAMA International EI Conference, pp.257, 1998

[25]

Behavior analysis of Inverter surge (in Japanese)

Okuyama and Fujii

Fuji Jihou vol.69, no.11, pp. 598, 1996

[26]

Multifactor aging of electrical machines energized by standard PWM drives,

Divljakovic-V; Kline-J; Akers-J; Theis-K,

IEEE 1996 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric IEEE, New York, NY,
USA; 1996; pp.808-12 Vol.2

[27]

Effects of risetime and cable length on motor insulation degradation resulting from operation on PWM
voltage source inverters,

Hyypio-DB, Marathon Electric, Wausau, WI, USA,

1997 IEEE International Electrical Machines and Drives Conference Record IEEE, New York, NY, USA;
1997; p. TC3/2.1-3

[28]

Ageing investigation of turn insulation under fast repetitive pulse voltage with or without Partial
discharges,

Montanari GC, Fabiani D, Contin A,

CWIEME, Berlin 1999 pp.88-96,

[29]

a-Critical factors for early failure of magnet wires in inverter-fed motor,

Weijun-Yin; Bultemeier-K; Barta-D; Floryan-D, Phelps Dodge Magnet Wire Co., Wayne, IN, USA,

IEEE 1995 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena IEEE, New
York, NY,
USA; 1995; 688 pp.258-61

b-Dielectric integrity of magnet wire insulations under multi-stresses,

Weijun-Yin; Bultemeier-K; Barta-D; Floryan-D, Phelps Dodge Magnet Wire Co., Fort Wayne, IN, USA,

Proceedings: Electrical Electronics Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil
Winding Conference. Electrical Manufacturing. & Coil Winding Assoc, Imperial Beach, CA, USA;
1995, pp.257-61

c-Failure mechanism of winding insulations in inverter-fed motors,

Weijun-Yin, Dept. of Mater. Sci., Phelps Dodge Magnet Wire Co., Fort Wayne, IN, USA,

IEEE-Electrical-Insulation-Magazine. Vol.13, n

d-Improved magnet wire for inverter-fed motors

Weijun-Yin; Bultemeier-K; Barta-D; Floryan-D; Phelps Dodge Magnet Wire Co., Fort Wayne, IN, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding
Conference, IEEE, New York, NY, USA; 1995 Nov.-Dec. 1997; p.18-23

[30]

Studies on magnet wire degradation with inverter driven motors,

Beeckman-RJ; Harber-JJ; Wentz-S, Essex Group Inc., Fort Wayne, IN, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding
Conference IEEE, New York, NY, USA; 1995; pp 383-7

[23]

An equivalent circuit for calculation of interturn voltage distribution of stator windings in the presence of slot discharges.

Islam-S; Ledwich-G, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Newcastle Univ., NSW, Australia,
Proceedings of 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials
IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.507-10 Vol.1

[24]

High voltage motor winding insulation for high power adjustable speed drives fed by IGBT converter

K. Bauer et al.

8th BEAMA International EI Conference, pp.257, 1998

[25]

Behavior analysis of Inverter surge (in Japanese)

Okuyama and Fujii

Fuji Jihou vol.69, no.11, pp. 598, 1996

[26]

Multifactor aging of electrical machines energized by standard PWM drives,

Divljakovic-V; Kline-J; Akers-J; Theis-K,

IEEE 1996 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric IEEE, New York, NY, USA; 1996; pp.808-12 Vol.2

[27]

Effects of risetime and cable length on motor insulation degradation resulting from operation on PWM voltage source inverters,

Hyypio-DB, Marathon Electric, Wausau, WI, USA,

1997 IEEE International Electrical Machines and Drives Conference Record IEEE, New York, NY, USA; 1997; p. TC3/2.1-3

[28]

Ageing investigation of turn insulation under fast repetitive pulse voltage with or without Partial discharges,

Montanari GC, Fabiani D, Contin A,

CWIEME, Berlin 1999 pp.88-96,

[29]

a-Critical factors for early failure of magnet wires in inverter-fed motor,

Weijun-Yin; Bultemeier-K; Barta-D; Floryan-D, Phelps Dodge Magnet Wire Co., Wayne, IN, USA,

IEEE 1995 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena IEEE, New York, NY, USA; 1995; 688 pp.258-61

b-Dielectric integrity of magnet wire insulations under multi-stresses,

Weijun-Yin; Bultemeier-K; Barta-D; Floryan-D, Phelps Dodge Magnet Wire Co., Fort Wayne, IN, USA,

Proceedings: Electrical Electronics Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference. Electrical Manufacturing. & Coil Winding Assoc, Imperial Beach, CA, USA; 1995, pp.257-61

c-Failure mechanism of winding insulations in inverter-fed motors,

Weijun-Yin, Dept. of Mater. Sci., Phelps Dodge Magnet Wire Co., Fort Wayne, IN, USA,

IEEE-Electrical-Insulation-Magazine. Vol.13, n

d-Improved magnet wire for inverter-fed motors

Weijun-Yin; Bultemeier-K; Barta-D; Floryan-D; Phelps Dodge Magnet Wire Co., Fort Wayne, IN, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference, IEEE, New York, NY, USA; 1995 Nov.-Dec. 1997; p.18-23

[30]

Studies on magnet wire degradation with inverter driven motors,

Beeckman-RJ; Harber-JJ; Wentz-S, Essex Group Inc., Fort Wayne, IN, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference IEEE, New York, NY, USA; 1995; pp 383-7

[31]

The effect of mechanical deformation and wire size on the ozone erosion resistance of inverter-duty magnet wires,

Metzler-DA; Hake-JE, Rea Magnet Wire Co. Inc., Lafayette, IN, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference. IEEE, New York, NY, USA; 1995;p.389-95

[32]

New high temperature polyimide insulation for partial discharge resistance in harsh environments,

Katz-M; Theis-RJ, DuPont, Circleville, OH, USA,

IEEE-Electrical-Insulation-Magazine. Vol.13, no.4; July-Aug. 1997; p.24-30

[33]

a-Accelerated ageing of a partial discharge resistant enameled round wire [motor winding]

Bjorklund-A; Siberg-H; Paloniemi-P, ABB Corp. Res., Vasteras, Sweden,

Proceedings: Electrical Electronics Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference Electrical Manufacturing. & Coil Winding Assoc, Imperial Beach, CA, USA; 1995;p.417-19

b-A new partial discharge resistant wire enamel insulation for rotating machines,

Bjorklund-A; Froling-C; Svensson-G, HV Insulation, ABB Corporate Res., Vasteras, Sweden,

7th INSUCON 1994 BEAMA International Electrical Insulation Conference. Electrical. Electronic Insulation Assoc, London, UK; 1994;p.86-9

c-A partial discharge resistant enameled round wire for random wound motors,

Bjorklund-A; Siberg-H; Lindgren-M, Dept. H., ABB Corp. Res., Vasteras, Sweden,

Nordic Insulation Symposium. NORD-IS 96, NoBAegian Univ. Sci. & Technology, Trondheim, NoBAay; 1996; p.187-94

[34]

a-Endurance of the Winding Insulation of Rotating Machines Applying Frequency Inverters, ISH 1993, M.Kaufhold, G. Börner, M. Eberhardt, Paper 64/02, Yokohama, Japan, 1993

b-Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage Electrical machines fed by pulse-controlled inverters,

Kaufhold-M; Inst. for Nat. Meas. Stand. Nat. Res. Council of Canada, Ottawa, Ont., Canada,

IEEE 1995 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, New York, NY, USA; 1995; 688 p.254-7

c-Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electrical machines fed by pulse-controlled inverters,

Kaufhold-M; Börner-G; Eberhardt-M; Speck-J, Inst. for High Voltage & High Current Engineering, Tech. Univ. Dresden, Germany,

IEEE-Electrical-Insulation-Magazine. Vol.12, no.5; Sept.-Oct. 1996; p.9-16

d-High Voltage Motor Winding Insulation for High Power Adjustable Speed Drives Fed by IGBT-Converters,

M. Kaufhold, K. Bauer, H. Wang,

Proceedings of BEAMA Conference, Harrogate, May 1998

[35]

a-Electrical aging of stator insulation of low voltage rotating machines supplied by inverters,

Bellomo-JP; Lebey-T; Orasion-JM; Peltier-F, Lab. Genie Electrique de Toulouse, France:

Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. IEEE, New York, NY, USA; 1996; p.210-13 Vol.1

b-The effect of pulsed voltages on dielectric material properties,

Bellomo-JP; Castelan-P; Lebey-T, Lab. de Genie Electr. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France,

IEEE-Transactions-on-Dielectrics-and-Electrical-Insulation. Vol.6, no.1; Feb. 1999; p.20-6

c-Lifetime of conventional and corona resistant enamels,

Bellomo-JP; Dinculescu-S; Lebey-T, Lab. de Genie Electr. de Toulouse, France,

Conference Record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. IEEE, New York, NY, USA; 1998; p.173-6 Vol.1

[31]

The effect of mechanical deformation and wire size on the ozone erosion resistance of inverter-duty magnet wires,

Metzler-DA; Hake-JE, Rea Magnet Wire Co. Inc., Lafayette, IN, USA,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference. IEEE, New York, NY, USA; 1995;p.389-95

[32]

New high temperature polyimide insulation for partial discharge resistance in harsh environments,

Katz-M; Theis-RJ, DuPont, Circleville, OH, USA,

IEEE-Electrical-Insulation-Magazine. Vol.13, no.4; July-Aug. 1997; p.24-30

[33]

a-Accelerated ageing of a partial discharge resistant enameled round wire [motor winding]

Bjorklund-A; Siberg-H; Paloniemi-P, ABB Corp. Res., Vasteras, Sweden,

Proceedings: Electrical Electronics Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference Electrical Manufacturing. & Coil Winding Assoc, Imperial Beach, CA, USA; 1995;p.417-19

b-A new partial discharge resistant wire enamel insulation for rotating machines,

Bjorklund-A; Froling-C; Svensson-G, HV Insulation, ABB Corporate Res., Vasteras, Sweden,

7th INSUCON 1994 BEAMA International Electrical Insulation Conference. Electrical. Electronic Insulation Assoc, London, UK; 1994;p.86-9

c-A partial discharge resistant enameled round wire for random wound motors,

Bjorklund-A; Siberg-H; Lindgren-M, Dept. H., ABB Corp. Res., Vasteras, Sweden,

Nordic Insulation Symposium. NORD-IS 96, NoBAegian Univ. Sci. & Technology, Trondheim, NoBAay; 1996; p.187-94

[34]

a-Endurance of the Winding Insulation of Rotating Machines Applying Frequency Inverters, ISH 1993, M.Kaufhold, G. Börner, M. Eberhardt, Paper 64/02, Yokohama, Japan, 1993

b-Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage Electrical machines fed by pulse-controlled inverters,

Kaufhold-M; Inst. for Nat. Meas. Stand. Nat. Res. Council of Canada, Ottawa, Ont., Canada,

IEEE 1995 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, New York, NY, USA; 1995; 688 p.254-7

c-Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electrical machines fed by pulse-controlled inverters,

Kaufhold-M; Börner-G; Eberhardt-M; Speck-J, Inst. for High Voltage & High Current Engineering, Tech. Univ. Dresden, Germany,

IEEE-Electrical-Insulation-Magazine. Vol.12, no.5; Sept.-Oct. 1996; p.9-16

d-High Voltage Motor Winding Insulation for High Power Adjustable Speed Drives Fed by IGBT-Converters,

M. Kaufhold, K. Bauer, H. Wang,

Proceedings of BEAMA Conference, Harrogate, May 1998

[35]

a-Electrical aging of stator insulation of low voltage rotating machines supplied by inverters,

Bellomo-JP; Lebey-T; Orasion-JM; Peltier-F, Lab. Genie Electrique de Toulouse, France:

Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. IEEE, New York, NY, USA; 1996; p.210-13 Vol.1

b-The effect of pulsed voltages on dielectric material properties,

Bellomo-JP; Castelan-P; Lebey-T, Lab. de Genie Electr. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France,

IEEE-Transactions-on-Dielectrics-and-Electrical-Insulation. Vol.6, no.1; Feb. 1999; p.20-6

c-Lifetime of conventional and corona resistant enamels,

Bellomo-JP; Dinculescu-S; Lebey-T, Lab. de Genie Electr. de Toulouse, France,

Conference Record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. IEEE, New York, NY, USA; 1998; p.173-6 Vol.1

[36]

The use of partial discharge and impulse voltage testing in the evaluation of interturn insulation failure of large motors,
Nassar-OM, ARAMCO, Dhahran, Saudi Arabia,
IEEE-Transactions-on-Energy-Conversion. Vol.EC-2, no.4; Dec. 1987; p.615-21

[37]

Frequency acceleration characteristics in internal discharge endurance tests by a glass-covered electrode system,
Ikeda-Y; Tanaka-T, Central Res. Inst. of Electric Power Industry, Tokyo, Japan,
IEEE-Transactions-on-Electrical-Insulation. Vol.EI-17, no.1; Feb. 1982; p.64-9

[38]

Breakdown of solid insulating films by partial discharge using sinusoidal and pulse voltages,
Ahmed-FS; Ahmed-AS, Dept. of Phys., Al-Azhar Univ., Cairo, Egypt,
IEEE-Transactions-on-Electrical-Insulation. Vol.EI-13, no.5; Oct. 1978; p.337-42

[39]

Degradation of winding insulation under repetitive impulse voltage,
Shibuya-Y; Kimura-K; Higashimura-Y; Mitsui-H; Haga-K; Suwahara-H, Central Res. Lab., Mitsubishi Electric Corp., Hyogo, Japan,
Proceedings of the 35th Session. International Conference on Large High Voltage Electrical Systems. CIGRE, Paris, France; 1995;p.15-104/1-7 Vol.1

[40]

A new testing method of an enameled wire with a developed nanosecond pulse generator,
Kando-M, Tokai Univ., Kanagawa, Japan,
ICSD'98. Proceedings of the 1998 IEEE 6th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics. IEEE, New York, NY, USA, 1998; p.485-8

[41]

Characteristics of partial discharge by applying rectangular pulse voltage,
Mori-K; Fukuda-A; Inoue-Y,
International Conference on Partial Discharge IEE, London, UK; 1993; p.117-18

[42]

Investigation of the failure mechanism of insulation subjected to repetitive fast voltage surge,
Foulon-N; Lucas-J-P; Barra-G; Mailfert-R; Enon-J, Mater. & Electrical Engineering Unit, Alcatel Alsthom Recherche, Marcoussis, France,
Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference IEEE, New York, NY, USA; 1995;p.401-6

[43]

a-Evidence of charge injection resulting from fast pulse operation of inverter drives,
Hudon-C; Amyot-N; Kande-N, IREQ, Hydro-Quebec, Varennes, Que., Canada,
1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, New York, NY, USA; 1998; p.714-18 Vol.2

b-Turn insulation aging of motors exposed to fast pulses of inverter drives,
Hudon-C; Seguin-JN; Amyot-N; Kande-N, Hydro-Quebec, Varennes, Que., Canada,
Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference (Cat. No.97CH36075). IEEE, New York, NY, USA; 1997;p.413-17

[44]

Existence of partial discharges in low-voltage induction machines supplied by PWM drives,
Mbaye-A; Grigorescu-F; Lebey-T; Bui-Ai, Lab. de Genie Electrique de Toulouse, France,
IEEE-Transactions-on-Dielectrics-and-Electrical-Insulation. Vol.3, no.4; Aug. 1996; p.554-60

[45]

Armature insulation stress of low voltage AC motors due to inverter supply,
Binder-A, Siemens AG, Bad Neustadt, Germany,
ICEM 94. International Conference on Electrical Machines. Soc. Electrical Electron, Paris, France; 1994 p.431-6 Vol.2

[36]

The use of partial discharge and impulse voltage testing in the evaluation of interturn insulation failure of large motors,
Nassar-OM, ARAMCO, Dhahran, Saudi Arabia,
IEEE-Transactions-on-Energy-Conversion. Vol.EC-2, no.4; Dec. 1987; p.615-21

[37]

Frequency acceleration characteristics in internal discharge endurance tests by a glass-covered electrode system,
Ikeda-Y; Tanaka-T, Central Res. Inst. of Electric Power Industry, Tokyo, Japan,
IEEE-Transactions-on-Electrical-Insulation. Vol.EI-17, no.1; Feb. 1982; p.64-9

[38]

Breakdown of solid insulating films by partial discharge using sinusoidal and pulse voltages,
Ahmed-FS; Ahmed-AS, Dept. of Phys., Al-Azhar Univ., Cairo, Egypt,
IEEE-Transactions-on-Electrical-Insulation. Vol.EI-13, no.5; Oct. 1978; p.337-42

[39]

Degradation of winding insulation under repetitive impulse voltage,
Shibuya-Y; Kimura-K; Higashimura-Y; Mitsui-H; Haga-K; Suwahara-H, Central Res. Lab., Mitsubishi Electric Corp., Hyogo, Japan,
Proceedings of the 35th Session. International Conference on Large High Voltage Electrical Systems. CIGRE, Paris, France; 1995;p.15-104/1-7 Vol.1

[40]

A new testing method of an enameled wire with a developed nanosecond pulse generator,
Kando-M, Tokai Univ., Kanagawa, Japan,
ICSD'98. Proceedings of the 1998 IEEE 6th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics. IEEE, New York, NY, USA, 1998; p.485-8

[41]

Characteristics of partial discharge by applying rectangular pulse voltage,
Mori-K; Fukuda-A; Inoue-Y,
International Conference on Partial Discharge IEE, London, UK; 1993; p.117-18

[42]

Investigation of the failure mechanism of insulation subjected to repetitive fast voltage surge,
Foulon-N; Lucas-J-P; Barra-G; Mailfert-R; Enon-J, Mater. & Electrical Engineering Unit, Alcatel Alsthom Recherche, Marcoussis, France,
Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference IEEE, New York, NY, USA; 1995;p.401-6

[43]

a-Evidence of charge injection resulting from fast pulse operation of inverter drives,
Hudon-C; Amyot-N; Kande-N, IREQ, Hydro-Quebec, Varennes, Que., Canada,
1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, New York, NY, USA; 1998; p.714-18 Vol.2

b-Turn insulation aging of motors exposed to fast pulses of inverter drives,
Hudon-C; Seguin-JN; Amyot-N; Kande-N, Hydro-Quebec, Varennes, Que., Canada,
Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference (Cat. No.97CH36075). IEEE, New York, NY, USA; 1997;p.413-17

[44]

Existence of partial discharges in low-voltage induction machines supplied by PWM drives,
Mbaye-A; Grigorescu-F; Lebey-T; Bui-Ai, Lab. de Genie Electrique de Toulouse, France,
IEEE-Transactions-on-Dielectrics-and-Electrical-Insulation. Vol.3, no.4; Aug. 1996; p.554-60

[45]

Armature insulation stress of low voltage AC motors due to inverter supply,
Binder-A, Siemens AG, Bad Neustadt, Germany,
ICEM 94. International Conference on Electrical Machines. Soc. Electrical Electron, Paris, France; 1994 p.431-6 Vol.2

[46]

See for example:

Influence of mineral content on the behavior of electrical papers under high-frequency partial discharges,

Ciobanu-R; Pfeiffer-W; Plessow-R, Dept. of Electrical Meas. & Mater. Tech. Univ. Iasi, Romania, European-Transactions-on-Electrical-Power. Vol.9, no.3; May-June 1999; p.193-7

[47]

The influence of the coupling capacitance and the frequency of the voltage stress with respect to a partial discharge measurement,

Pfeiffer-W; Plessow-R, Tech. Hochschule Darmstadt, Germany,

IEEE 1997 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.558-61 Vol.2

[48]

Insulation failure prediction in inverter-fed induction machines using line-neutral voltages,

Cash-MA; Habetler-TG, School of Electrical & Computer Engineering, Georgia Inst. of Technology, Atlanta, GA, USA,

APEC '98. Thirteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE, New York, NY, USA; 1998;p.1035-9 Vol.2

[49]

Fault diagnosis of voltage-fed inverter for induction motor drive,

Chrzan-PJ; Szczesny-R, Dept. of Electrical Engineering, Tech. Univ. Gdansk, Poland,

ISIE '96. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, IEEE, New York, NY, USA; 1996, p.1011-16 Vol.2

[50]

a-A new monitor to measure motor voltage surges,

Campbell-S; Lloyd-B; Stone-G, Iris Power Engineering, Etobicoke, Ont., Canada,

Iris Rotating Machine Technical Conference. IRMC Conference Proceedings. Iris Power Eng, Etobicoke, Ont., Canada; 1998, p.209-13

b-New tools to determine the vulnerability of stator windings to phase surges from IFDS,

Stone-G, Campbell-S, Susnik-M, Iris Power Engineering, Etobicoke, Ont., Canada,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference (Cat. No.99CH37035). IEEE, New York, NY, USA; 1999;p.149-153

[51]

An equivalent circuit for calculation of interturn voltage distribution of stator windings in the presence of slot discharges

Islam-S; Ledwich-G, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Newcastle Univ., NSW, Australia,

Proceedings of 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.507-10 Vol.1

[52]

Assessing AC motor dielectric withstand capability to reflected voltage stress using corona testing, Skibinski-G; Erdman-J; Pankau-J; Campbell-J, Standard Drives Div., Allen-Bradley Co., Mequon, WI, USA,

IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference, Thirty-First IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1996,p.694-702 Vol.1

[53]

Effect of surge voltage risetime on the insulation of low voltage machines fed by PWM converters,

Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Reliance Electric Co., Euclid, OH, USA,

IAS '97. Conference Record of the 1997 IEEE Industry Applications Conference Thirty-Second IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1997, p.239-46 Vol.1

[54]

a-Using corona inception voltage for motor evaluation,

Lanier-C, Lincoln Electric Co., Cleveland, OH, USA,

IEEE-Industry-Applications-Magazine. Vol.5, no.4; July-Aug. 1999; p.48-54

b-A novel technique for the determination of relative corona activity within inverter-duty motor insulation systems using steep-fronted voltage pulses,

Lanier-C, Dept. of Res. & Dev., Lincoln Electric Co., Cleveland, OH, USA,

Conference Record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, IEEE, New York, NY, USA; 1998;p.229-36 Vol.1

[46]

See for example:

Influence of mineral content on the behavior of electrical papers under high-frequency partial discharges,

Ciobanu-R; Pfeiffer-W; Plessow-R, Dept. of Electrical Meas. & Mater. Tech. Univ. Iasi, Romania, European-Transactions-on-Electrical-Power. Vol.9, no.3; May-June 1999; p.193-7

[47]

The influence of the coupling capacitance and the frequency of the voltage stress with respect to a partial discharge measurement,

Pfeiffer-W; Plessow-R, Tech. Hochschule Darmstadt, Germany,

IEEE 1997 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.558-61 Vol.2

[48]

Insulation failure prediction in inverter-fed induction machines using line-neutral voltages,

Cash-MA; Habetler-TG, School of Electrical & Computer Engineering, Georgia Inst. of Technology, Atlanta, GA, USA,

APEC '98. Thirteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE, New York, NY, USA; 1998;p.1035-9 Vol.2

[49]

Fault diagnosis of voltage-fed inverter for induction motor drive,

Chrzan-PJ; Szczesny-R, Dept. of Electrical Engineering, Tech. Univ. Gdansk, Poland,

ISIE '96. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, IEEE, New York, NY, USA; 1996, p.1011-16 Vol.2

[50]

a-A new monitor to measure motor voltage surges,

Campbell-S; Lloyd-B; Stone-G, Iris Power Engineering, Etobicoke, Ont., Canada,

Iris Rotating Machine Technical Conference. IRMC Conference Proceedings. Iris Power Eng, Etobicoke, Ont., Canada; 1998, p.209-13

b-New tools to determine the vulnerability of stator windings to phase surges from IFDS,

Stone-G, Campbell-S, Susnik-M, Iris Power Engineering, Etobicoke, Ont., Canada,

Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference (Cat. No.99CH37035). IEEE, New York, NY, USA; 1999;p.149-153

[51]

An equivalent circuit for calculation of interturn voltage distribution of stator windings in the presence of slot discharges

Islam-S; Ledwich-G, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Newcastle Univ., NSW, Australia,

Proceedings of 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, IEEE, New York, NY, USA; 1997; p.507-10 Vol.1

[52]

Assessing AC motor dielectric withstand capability to reflected voltage stress using corona testing, Skibinski-G; Erdman-J; Pankau-J; Campbell-J, Standard Drives Div., Allen-Bradley Co., Mequon, WI, USA,

IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference, Thirty-First IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1996,p.694-702 Vol.1

[53]

Effect of surge voltage risetime on the insulation of low voltage machines fed by PWM converters,

Melfi-M; Sung-J; Bell-S; Skibinski-G, Reliance Electric Co., Euclid, OH, USA,

IAS '97. Conference Record of the 1997 IEEE Industry Applications Conference Thirty-Second IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1997, p.239-46 Vol.1

[54]

a-Using corona inception voltage for motor evaluation,

Lanier-C, Lincoln Electric Co., Cleveland, OH, USA,

IEEE-Industry-Applications-Magazine. Vol.5, no.4; July-Aug. 1999; p.48-54

b-A novel technique for the determination of relative corona activity within inverter-duty motor insulation systems using steep-fronted voltage pulses,

Lanier-C, Dept. of Res. & Dev., Lincoln Electric Co., Cleveland, OH, USA,

Conference Record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, IEEE, New York, NY, USA; 1998;p.229-36 Vol.1

[55]

Selection of power cables for PWM AC adjustable-speed drives,
Mercier-CD; Cooper-DA, Southwire Co., Carrollton, GA, USA,
1999 IEEE Annual Textile, Fiber and Film Industry Technical Conference. IEEE, Piscataway, NJ, USA;
1999; p7

[56]

Some hints on the insulation design of power cables for inverter voltages based on experimental results,
Mukai-S; Ohki-Y; Nakamichi-Y; Ajiki-K, Waseda Univ., Tokyo, Japan,
Transactions-of-the-Institute-of-Electrical-Engineers-of-Japan, -Part-B. Vol.119-B, no.1; Jan. 1999;
p.117-22

[57]

Surge protection for large a.c. motors,
Moses-GL; Shankle-DF; Edwards-RF, Westinghouse Electric Corp., East Pittsburgh, PA, USA,
IEEE 1968 Annual pulp and paper industry technical conference. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, USA; 1968; 133 p 9

[58]

Surge protection of MV motors and dry type transformers,
Yelland-CP,
Elektron. Vol.10, no.6; June 1993; p.20-1

[59]

Motor failures due to steep fronted switching surges: the need for surge protection-user's experience
Zotos-PA, Aramco Services Co., Houston, TX, USA,
IEEE-Transactions-on-Industry-Applications. Vol.30, no.6; Nov-Dec. 1994; p.1514-24

[60]

Common-mode current attenuation techniques for use with PWM drives
Swamy-MM; Kume-T, Yaskawa Electric America, Waukegan, IL, USA,
APEC '99. Fourteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. 1999 Conference Proceedings IEEE, Piscataway, NJ, USA; 1999; p.767-73 Vol.2

[61]

a-Filtering techniques to minimize the effect of long motor leads on PWM inverter fed AC motor drive systems,
von-Jouanne-A; Rendusara-D; Enjeti-P; Gray-W, Dept. of Electrical Engineering, Texas A&M Univ., College Station, TX, USA,
IAS '95. Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications Conference. Thirtieth IAS Annual Meeting, IEEE, New York, NY, USA; 1995; p.37-44 Vol.1

b-Design considerations for an inverter output filter to mitigate the effects of long motor leads in ASD applications,
von-Jouanne-A; Enjeti-PN, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Oregon State Univ., Corvallis, OR, USA,
IEEE-Transactions-on-Industry-Applications. Vol.33, no.5; Sept.-Oct. 1997; p.1138-45

[62]

Installation considerations for IGBT AC drives,
Skibinski-G; Maslowski-W; Pankau-J, Allen Bradley Stand. Drives Div., Mequon, WI, USA,
1997 IEEE Annual Textile, Fiber and Film Industry Technical Conference IEEE, New York, NY, USA;
1997; 82 6. 1

[63]

Relationship between the paper covering thickness of the electrode and the development of the surface flashover at impulse voltages,
Abri-V, ABB Transformers, Ludvika, Sweden,
ICSD'98. Proceedings of the 1998 IEEE 6th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics., IEEE, New York, NY, USA; 1998. p.473-6