

SPÉCIFICATION
TECHNIQUE

CEI
IEC

TECHNICAL
SPECIFICATION

TS 60034-27

Première édition
First edition
2006-12

Machines électriques tournantes –

Partie 27:

**Mesures à l'arrêt des décharges partielles
effectuées sur le système d'isolation des
enroulements statoriques des machines
électriques tournantes**

Rotating electrical machines –

Part 27:

**Off-line partial discharge measurements
on the stator winding insulation of rotating
electrical machines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TS 60034-27:2006

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Service clients**

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Customer Service Centre**

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

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

SPÉCIFICATION
TECHNIQUE

CEI
IEC

TECHNICAL
SPECIFICATION

TS 60034-27

Première édition
First edition
2006-12

Machines électriques tournantes –

Partie 27:

Mesures à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes

Rotating electrical machines –

Part 27:

Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines

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

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives.....	14
3 Termes et définitions	14
4 Nature des DP dans les machines tournantes.....	18
4.1 Notions élémentaires sur les DP.....	18
4.2 Types de DP dans les machines tournantes	20
4.3 Propagation des impulsions dans les enroulements.....	22
5 Techniques et appareils de mesure	24
5.1 Généralités.....	24
5.2 Influence de la réponse en fréquence du système de mesure.....	24
5.3 Effets des ensembles de couplage des DP	26
5.4 Systèmes de mesure à large bande et à bande étroite	28
6 Visualisation des mesures	32
6.1 Généralités.....	32
6.2 Etendue minimale de la présentation des données relatives aux DP.....	32
6.3 Moyens supplémentaires de représentation des données relatives aux DP.....	34
7 Circuits d'essai	38
7.1 Généralités.....	38
7.2 Composants individuels d'enroulement.....	38
7.3 Enroulement complet.....	42
8 Normalisation des mesures	46
8.1 Généralités.....	46
8.2 Composants individuels d'enroulement.....	48
8.3 Enroulements complets	48
9 Modes opératoires d'essai.....	52
9.1 Réalisation de mesures de DP au niveau des enroulements et des composants d'enroulements	52
9.2 Identification et localisation de la source de décharges partielles	60
10 Interprétation des résultats d'essai	62
10.1 Généralités.....	62
10.2 Interprétation relative à la TADP, à la TEDP et à Q_m	64
10.3 Identification des patrons de DP.....	68
11 Rapport d'essai	72
Annexe A (informative) Mesures en fonctionnement des décharges partielles.....	78
Annexe B (informative) Méthodes non électriques de détection des DP et méthodes de localisation de celles-ci	82
Annexe C (informative) Bruit d'origine externe, perturbations et sensibilité	84
Annexe D (informative) Méthodes de suppression des perturbations.....	90
Annexe E (informative) Interprétation des données d'amplitude des DP et des patrons de DP résolus en phase.....	102

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	15
2 Normative references	15
3 Terms and definitions	15
4 Nature of PD in rotating machines	19
4.1 Basics of PD	19
4.2 Types of PD in rotating machines	21
4.3 Pulse propagation in windings	23
5 Measuring techniques and instruments.....	25
5.1 General.....	25
5.2 Influence of frequency response of measurement system.....	25
5.3 Effects of PD coupling units.....	27
5.4 Wide-band and narrow band measuring systems.....	29
6 Visualization of measurements	33
6.1 General.....	33
6.2 Minimum scope of PD data presentation.....	33
6.3 Additional means of PD data representation	35
7 Test circuits.....	39
7.1 General.....	39
7.2 Individual winding components	39
7.3 Complete winding.....	43
8 Normalization of measurements	47
8.1 General.....	47
8.2 Individual winding components	49
8.3 Complete windings	49
9 Test procedures	53
9.1 Acquiring PD measurements on windings and winding components.....	53
9.2 Identifying and locating the source of partial discharges.....	61
10 Interpretation of test results.....	63
10.1 General.....	63
10.2 Interpretation of PDIV, PDEV and Q_m	65
10.3 PD pattern recognition.....	69
11 Test report.....	73
Annex A (informative) On-line partial discharge measurements.....	79
Annex B (informative) Non-electrical methods of PD detection and methods for localization	83
Annex C (informative) External noise, disturbance and sensitivity.....	85
Annex D (informative) Methods of disturbance suppression	91
Annex E (informative) Interpretation of PD magnitude data and phase resolved PD patterns	103

Bibliographie.....	110
Figure 1 – Réponse en fréquence d'une impulsion de DP et dispositifs de couplage de différentes constantes de temps	26
Figure 2 – Réponses impulsionnelles types de systèmes de mesure de DP à large bande et à bande étroite	30
Figure 3 – Amplitude des DP en fonction de la tension d'essai normalisée $Q_m = f(U/U_{\max})$	34
Figure 4 – Exemple d'un patron $\phi-q-n$ de décharges partielles où les DP ont été mesurées à l'aide d'un dispositif de couplage monté en série et relié à l'objet soumis à essai, conformément à la Figure 5b, en adoptant un code de couleurs pour le nombre d'impulsions $H(n)$	36
Figure 5 – Circuits d'essai conformes à la CEI 60270	40
Figure 6 – Circuit d'essai destiné à la mesure des DP (S1.1) au niveau d'un enroulement complet	42
Figure 7 – Normalisation du circuit d'essai pour la mesure S1.1	50
Figure 8 – Tension appliquée à l'objet d'essai durant la mesure des DP	56
Figure 9 – Exemple pour l'identification et la localisation de sources de DP	70
Figure C.1 – Mise en charge de l'objet soumis à essai par diverses composantes de courant	86
Figure D.1 – Sans masquage des fenêtres.....	90
Figure D.2 – Avec masquage des fenêtres.....	90
Figure D.3 – Courants d'impulsion à travers le circuit de mesure	92
Figure D.4 – Exemple d'élimination de bruit	98
Figure D.5 – Exemple d'élimination de la diaphonie	100
Figure E.1 – Exemple de patrons de DP	104
Tableau 1 – Schéma de connexion S1 pour montage en étoile ouvert.....	44
Tableau 2 – Schéma de connexion S2 pour montage en étoile fermé.....	44
Tableau 3 – Schéma de connexion E1 pour montage en étoile ouvert.....	46
Tableau 4 – Schéma de connexion E2 pour montage en étoile fermé.....	46
Tableau E.1 – Risques associés aux sources principales de DP dans les machines tournantes	106

Bibliography.....	111
Figure 1 – Frequency response of a PD pulse and coupling units of various time constants	27
Figure 2 – Typical pulse responses of wide band and narrow band PD systems.....	31
Figure 3 – PD magnitude as a function of the normalized test voltage $Q_m=f(U/U_{max})$	35
Figure 4 – Example of a ϕ - q - n partial discharge pattern where the PD was measured in series with the test object in accordance with Figure 5b, with colour code for the pulse number $H(n)$	37
Figure 5 – Basic test circuits in accordance with IEC 60270.....	41
Figure 6 – Test circuit for PD measurement (S1.1) on complete winding	43
Figure 7 – Normalization of the test circuit for measurement S1.1	51
Figure 8 – Test voltage applied to the test object during PD measurement	57
Figure 9 – Example for identification and localization of PD sources	71
Figure C.1 – Recharging of the test object by various current components.....	87
Figure D.1 – Without window masking.....	91
Figure D.2 – With window masking	91
Figure D.3 – Pulse currents through the measuring circuit	93
Figure D.4 – Example of noise rejection.....	99
Figure D.5 – Example of cross-talk rejection.....	101
Figure E.1 – Example PD patterns	105
Table 1 – Connection diagram S1 for open star point.....	45
Table 2 – Connection diagram S2 for closed star point	45
Table 3 – Connection diagram E1 for open star point.....	47
Table 4 – Connection diagram E2 for closed star point	47
Table E.1 – Risks associated with the main PD sources in rotating machines	107

LICENSED TO MECON Limited - RANCHI/BANGALORE
 FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 27: Mesures à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines

FOREWORD

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

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

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

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

La CEI 60034-27, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
2/1384/DTS	2/1395A/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la CEI 60034, sous le titre général *Machines électriques tournantes*, est disponible sur le site web de la CEI.

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

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

IEC 60034-27, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

Enquiry draft	Report on voting
2/1384/DTS	2/1395A/RVC

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

Depuis bien des années, la mesure des décharges partielles (DP) a servi comme un moyen précis permettant l'évaluation de la qualité d'un nouveau système d'isolation et comme moyen de détection de sources localisées de DP dans les anciens systèmes d'isolation électrique des enroulements dues aux contraintes opérationnelles en cours de fonctionnement. Comparées à d'autres essais diélectriques (c'est-à-dire la mesure de la tangente de l'angle de pertes ou de la résistance d'isolement), les mesures des décharges partielles offrent une caractéristique distinctive dans la mesure où elles permettent d'identifier les insuffisances localisées du système d'isolation.

Les essais de DP réalisés dans les machines tournantes servent également au contrôle de la qualité de l'assemblage et de la finition de nouveaux enroulements statoriques, de nouveaux composants d'enroulements (par exemple bobines et barres préformées, traversées H.T., etc.) et de stators à imprégnation globale.

En matière d'entretien courant, de dépannage et de révision des machines tournantes, la mesure des décharges partielles peut fournir également des informations sur:

- les faiblesses et insuffisances du système d'isolation;
- les processus de vieillissement;
- les mesures supplémentaires à prendre et les intervalles entre les opérations de révision périodiques.

Bien que les essais réalisés sur les DP dans les machines tournantes soient largement admis et acceptés, plusieurs études ont montré que non seulement il existe de multiples et diverses méthodes de mesure, mais également que les critères et méthodes d'analyse et d'évaluation finale des données mesurées sont souvent très différents et qu'ils ne sont pas réellement comparables. Par conséquent, il existe une nécessité impérieuse qui requiert la mise à disposition de certaines recommandations à l'attention des utilisateurs qui envisagent le recours aux mesures des DP pour les besoins d'évaluation de l'état de leurs systèmes d'isolation.

Les essais relatifs aux décharges partielles dans les enroulements statoriques peuvent être divisés en deux grands groupes:

- a) les mesures à l'arrêt effectuées avec l'enroulement statorique désaccouplé du réseau, une source d'alimentation séparée étant alors utilisé pour la mise sous tension de l'enroulement;
- b) les mesures en fonctionnement effectuées sur le système au cours desquelles la machine tournante est en condition normale de fonctionnement et reliée au réseau.

Ces deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients lorsqu'elles sont comparées à une autre. A cet effet, l'Annexe A traite brièvement des mérites des essais en fonctionnement réalisés sur le système ainsi que de leurs inconvénients. Cependant, dans la mesure où l'utilisation des méthodes de mesure en fonctionnement est largement répandue à travers le monde et considérant leur utilité éprouvée pour l'industrie, la présente spécification technique traite exclusivement des techniques de mesure à l'arrêt. Cette approche est jugée nécessaire et elle vise à faire de la présente étude un document condensé et concis qui s'adresse aux non-spécialistes dans le domaine des essais portant sur les DP.

INTRODUCTION

For many years, the measurement of partial discharges (PD) has been employed as a sensitive means of assessing the quality of new insulation as well as a means of detecting localized sources of PD in used electrical winding insulation arising from operational stresses in service. Compared with other dielectric tests (i.e. the measurement of dissipation factor or insulation resistance) the differentiating character of partial discharge measurements allows localized weak points of the insulation system to be identified.

The PD testing of rotating machines is also used when inspecting the quality of new assembled and finished stator windings, new winding components (e.g. form-wound coils and bars, HV bushings, etc.) and fully impregnated stators.

In connection with the servicing and overhaul of rotating machines, the measurement of partial discharges can also provide information on:

- points of weakness in the insulation system;
- ageing processes;
- further measures and intervals between overhauls.

Although the PD testing of rotating machines has gained widespread acceptance, it has emerged from several studies that not only are there many different methods of measurement in existence but also the criteria and methods of analysing and finally assessing the measured data are often very different and not really comparable. Consequently, there is an urgent need to give some guidance to those users who are considering the use of PD measurements to assess the condition of their insulation systems.

Partial discharge testing of stator windings can be divided into two broad groups:

- a) off-line measurements, in which the stator winding is isolated from the power system and a separate power supply is employed to energize the winding;
- b) on-line measurements, in which the rotating machine is operating normally and connected to the power system.

Both of these approaches have advantages and disadvantages with respect to one another. A brief discussion of the merits of on-line testing, as well as the drawbacks, is provided in Annex A. However, while acknowledging the extensive world-wide use of on-line methods and their proven value to industry, this technical specification is confined to off-line techniques. This approach is considered necessary to render this specification sufficiently concise to be of use by non-specialists in the field of PD testing.

Réserves:

Lors des essais réalisés sur les enroulements statoriques, divers types d'appareils de mesure des DP donneront inévitablement des résultats différents; par conséquent, les mesures des DP ne seront alors comparables que dans certaines conditions. De ce fait, les limites absolues en matière d'enroulements de machines tournantes, telles que par exemple les critères d'acceptation de la production ou d'exploitation, sont difficiles à déterminer. Cela s'explique essentiellement par le phénomène de propagation impulsionnelle, par les difficultés d'étalonnage, par les caractéristiques spécifiques de réponse en fréquence des enroulements statoriques et par les systèmes de mesure des DP.

En outre, la gravité des détériorations, et par conséquent le risque de défaillance du système d'isolation dépendent du type spécifique de source de DP et de son emplacement à l'intérieur du système d'isolation des enroulements statoriques qui peuvent influencer dans une large mesure les résultats des essais.

Les limites empiriques vérifiées dans la pratique peuvent être utilisées comme base d'évaluation des résultats des essais. De plus, il est recommandé de procéder à l'évaluation de l'évolution des DP et à des comparaisons avec d'autres machines de conception similaire et disposant d'un système d'isolation semblable ayant fait l'objet de mesures effectuées dans des conditions similaires en mettant en œuvre les mêmes appareils de mesure, et ce afin d'apprécier de manière fiable l'état du système d'isolation des enroulements statoriques.

Il convient que les utilisateurs des données de mesure des DP soient conscients du fait que compte tenu des principes méthodologiques, la mesure des décharges partielles ne permet pas d'identifier tous les problèmes liés au système d'isolation des enroulements statoriques (par exemple défauts d'isolation impliquant des courants de fuite permanents dus aux interconnexions entre différents éléments du système d'isolation ou à des phénomènes de décharges non impulsionnelles).

Pour les essais portant sur les composants individuels des enroulements, les réserves formulées concernant les phénomènes de propagation des impulsions ne sont pas à prendre en considération lors de l'interprétation des résultats de mesure.

Limitations:

When stator windings are being tested different types of PD measuring instruments will inevitably produce different results and consequently PD measurements will only be comparable under certain conditions. Therefore, absolute limits for the windings of rotating machines, for example as acceptance criteria for production or operation, are difficult to define. This is mainly due to pulse propagation phenomena, specific difficulties with calibration and the individual frequency response characteristics of stator windings and PD measuring systems.

In addition, the degree of deterioration, and hence the risk of insulation system failure, depends on the specific type of PD source and its location within the stator winding insulation, both of which can influence the test results very significantly.

Empirical limits verified in practice can be used as a basis for evaluating test results. Furthermore, PD trend evaluation and comparisons with machines of similar design and similar insulation system measured under similar conditions, using the same measurement equipment, are recommended to ensure reliable assessment of the condition of the stator winding insulation.

Users of PD measurement should be aware that, due to the principles of the method, not all insulation-related problems in stator windings can be detected by measuring partial discharges (e.g. insulation failures involving continuous leakage currents due to conductive paths between different elements of the insulation or pulseless discharge phenomena).

For testing individual winding components, the limitations due to pulse propagation phenomena need not be considered when interpreting the results of measurements.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 27: Mesures à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 présente des modalités communes concernant

- les techniques de mesure et les appareils de mesure,
- la mise en place des circuits d'essai,
- les procédures de normalisation et les modes opératoires d'essai,
- la réduction du bruit,
- la documentation des résultats des essais,
- l'interprétation des résultats des essais

pour les besoins des mesures à l'arrêt des décharges partielles dans les systèmes d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes soumises à l'essai pour des tensions alternatives à fréquence inférieure ou égale à 400 Hz. Cette spécification technique s'applique aux machines tournantes disposant de barres ou de bobines préformées avec à revêtement conducteur en encoche. Cela est généralement valable pour les machines dont la tension assignée est supérieure ou égale à 6 kV. Les méthodes de mesure décrites dans cette spécification peuvent s'appliquer également aux machines sans revêtement conducteur appliqué aux encoches. Toutefois, les résultats peuvent être différents et ce cas n'est pas traité dans cette spécification.

2 Références normatives

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

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

CEI 60270:2000, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions d'ordre général et relatifs aux mesures des décharges partielles donnés dans la CEI 60270 s'appliquent ainsi que les suivants.

3.1

mesure à l'arrêt

mesure effectuée alors que la machine tournante est à l'arrêt, la machine étant alors hors circuit et non reliée au réseau

NOTE La tension d'essai nécessaire est appliquée à l'enroulement à partir d'une source de tension distinte.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines

1 Scope

This part of IEC 60034 which is a technical specification provides a common basis for

- measuring techniques and instruments,
- the arrangement of test circuits,
- normalization and testing procedures,
- noise reduction,
- the documentation of test results,
- the interpretation of test results

with respect to partial discharge off-line measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines when tested with alternating voltages up to 400 Hz. This technical specification applies to rotating machines having bars or form wound coils with conductive slot coating. This is usually valid for machines with voltage rating of 6 kV and higher. The measurement methods described in this specification may also be applied to machines without conductive slot coating. However, results may be different and are not covered by this specification.

2 Normative references

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

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

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the general terms and definitions for partial discharge measurements given in IEC 60270 apply, together with the following.

3.1

off-line measurement

measurement taken with the rotating machine at standstill, the machine being disconnected from the power system

NOTE The necessary test voltage is applied to the winding from a separate voltage source.

3.2

mesure en fonctionnement

mesure effectuée alors que la machine tournante est en condition normale de fonctionnement

3.3

revêtement de protection anti-effluves

peinture ou ruban dont est revêtue la surface du mur isolant s'étendant au-delà du revêtement conducteur de la partie couverte par les encoches des barres et bobines statoriques à haute tension

NOTE Le revêtement de protection anti-effluves réduit les contraintes dues au champ électrique le long de la développante à un niveau en deçà de la valeur critique qui serait à l'origine de décharges partielles sur la surface. Le revêtement de protection anti-effluves chevauche le revêtement conducteur de la partie couverte par les encoches afin d'assurer un contact électrique entre ces éléments.

3.4

revêtement d'encoches conducteur

couche de peinture ou ruban conducteur parfaitement en contact avec le mur isolant de mise à la terre dans la partie couverte par les encoches des bobines, souvent désigné par revêtement conducteur

NOTE Ce revêtement assure un bon contact électrique avec le noyau statorique.

3.5

détecteur de température à résistance RTD

sonde de température insérée dans l'enroulement statorique, généralement entre les barres supérieure et inférieure ou côté bobine dans une encoche donnée

3.6

décharges d'encoche

décharges qui se produisent entre la surface extérieure de la partie couverte par les encoches d'une bobine ou d'une barre et les tôles du noyau statorique mis à la terre

3.7

décharges internes

décharges qui se produisent à l'intérieur du système d'isolation

3.8

décharges superficielles

décharges qui se produisent à la surface du système d'isolation ou des composants de l'enroulement au niveau des développantes ou de la partie active de la machine

3.9

distribution d'amplitude d'impulsions

nombre d'impulsions dans une série de fenêtres équidistantes de hauteurs d'impulsions pendant un temps de mesure prédéfini

3.10

distribution de phase des impulsions

nombre d'impulsions dans une série de fenêtres équidistantes de phase pendant un temps de mesure prédéfini

3.11

patron de décharges partielles

représentation graphique de la distribution de l'amplitude des DP en fonction de leur phase sur le cycle alternatif pour visualiser le comportement des DP pendant un temps de mesure prédéfini et utilisant des paramètres spécifiques aux DP

3.2**on-line measurement**

measurement taken with the rotating machine in normal operation

3.3**stress control coating**

paint or tape on the surface of the groundwall insulation that extends beyond the conductive slot portion coating in high-voltage stator bars and coils

NOTE The stress control coating reduces the electric field stress along the winding overhang to below a critical value that would initiate PD on the surface. The stress control coating overlaps the conductive slot portion coating to provide electrical contact between them.

3.4**conductive slot coating**

conductive paint or tape layer in intimate contact with the groundwall insulation in the slot portion of the coil side, often called semiconductive coating

NOTE This coating provides good electrical contact to the stator core.

3.5**resistance temperature detector****RTD**

a temperature detector inserted into the stator winding, usually between the top and bottom bar or embedded coil sides in a given slot

3.6**slot discharges**

discharges that occur between the outer surface of the slot portion of a coil or bar and the grounded core laminations

3.7**internal discharges**

discharges that occur within the insulation system

3.8**surface discharges**

discharges that occur on the surface of the insulation or on the surface of winding components in the winding overhang or the active part of the machine winding

3.9**pulse height distribution**

the number of pulses within a series of equally-spaced windows of pulse magnitude during a predefined measuring time

3.10**pulse phase distribution**

the number of pulses within a series of equally-spaced windows of phase during a predefined measuring time

3.11**partial discharge pattern**

PD distribution map of PD magnitude vs a.c. cycle phase position, for visualization of the PD behaviour during a predefined measuring time, in which specific PD parameters are used for graphical representation

3.12

dispositif de couplage

généralement, réseau quadripôle, actif ou passif, qui convertit les courants d'entrée en signaux de tensions de sortie

NOTE Ces signaux parviennent à l'appareil de mesure par l'intermédiaire d'un circuit de transmission. La réponse en fréquence du dispositif de couplage est généralement choisie de manière à éviter, au moins et de façon efficace, que la fréquence des signaux de tension d'essai et ses harmoniques ne parviennent à l'appareil de mesure.

3.13

ensemble de couplage des DP

condensateur de couplage à haute tension, de conception à faible inductance, et dispositif de couplage à basse tension montés en série

3.14

amplitude de la plus grande DP répétitive

Q_m

plus grande amplitude enregistrée par un système de mesure présentant une réponse à un train d'impulsions conforme aux exigences de 4.3.3 de la CEI 60270, ou amplitude associée à un taux de répétition des impulsions de DP de 10 impulsions par seconde, qui peut être directement déduit à partir d'une distribution d'amplitude d'impulsions

3.15

quantification normalisée des impulsions

NQN

zone normalisée en dessous d'une ligne droite tracée sous les comptages d'impulsions dans chaque fenêtre d'analyse de la distribution des impulsions en fonction de leur amplitude, dans laquelle les comptages d'impulsions sont exprimés en tant que logarithme du nombre d'impulsions par seconde, la fenêtre d'amplitude d'impulsions présentant une échelle linéaire

4 Nature des DP dans les machines tournantes

4.1 Notions élémentaires sur les DP

Généralement, les décharges partielles (DP) peuvent se produire à des endroits où les propriétés diélectriques des matériaux isolants sont hétérogènes. Dans de tels endroits, l'intensité du champ électrique peut être amplifiée. Les amplifications électriques locales peuvent conduire à un claquage local partiel. Ce claquage partiel ne provoque pas un claquage total du système d'isolation. Généralement, l'établissement des DP nécessite un volume de gaz, par exemple dans les vides remplis de gaz et noyés dans le système d'isolation à proximité des conducteurs ou aux interfaces du système d'isolation.

Une décharge partielle peut se produire lorsque l'intensité de champ, à chaque défaut d'homogénéité, dépasse la limite de claquage. Ce processus peut se traduire par de multiples impulsions de DP au cours d'une période de la tension appliquée.

La quantité de charges transmises dans la décharge dépend étroitement des caractéristiques spécifiques de l'hétérogénéité, telles que les dimensions, la tension de claquage réelle et les propriétés diélectriques spécifiques des matériaux impliqués, par exemple les caractéristiques de surface, le type de gaz, la pression du gaz, etc.

3.12**coupling device**

usually an active or passive four-terminal network that converts the input currents to output voltage signals

NOTE These signals are transmitted to the measuring instrument by a transmission system. The frequency response of the coupling device is normally chosen at least so as to efficiently prevent the test voltage frequency and its harmonics from reaching the measuring instrument.

3.13**PD coupling unit**

a high voltage coupling capacitor of low inductance design and a low voltage coupling device in series

3.14**largest repeatedly occurring PD magnitude** **Q_m**

the largest magnitude recorded by a measuring system which has the pulse train response in accordance with 4.3.3 of IEC 60270, or the magnitude associated with a PD pulse repetition rate of 10 pulses per second (pps), which can be directly inferred from a pulse height distribution

3.15**normalized quantity number****NQN**

normalized area under a straight line fitted to the pulse counts in each magnitude window of a pulse height analysis, in which the pulse counts are expressed as a logarithm of the pulses per second and the pulse magnitude window is a linear scale

4 Nature of PD in rotating machines**4.1 Basics of PD**

Generally, partial discharges (PD) can develop at locations where the dielectric properties of insulating materials are inhomogeneous. At such locations, the local electrical field strength may be enhanced. Due to local electrical over-stressing this may lead to a local, partial breakdown. This partial breakdown does not result in a total breakdown of the insulation system. PD in general requires a gas volume to develop, for example in gas filled voids embedded in the insulation, adjacent to conductors or at insulation interfaces.

A partial discharge can occur when the local field strength of each inhomogeneity exceeds its breakdown field. This process may result in numerous PD pulses during one cycle of the applied voltage.

The amount of charge transferred in the discharge is closely related to the specific properties of the inhomogeneity such as the dimensions, the actual breakdown voltage and the specific dielectric properties of the materials involved, for example surface properties, kind of gas, gas pressure, etc.

Les systèmes d'isolation des enroulements statoriques des machines à haute tension connaissent généralement une certaine activité en termes de DP, mais ils présentent une résistance intrinsèque aux décharges partielles en raison de la présence de composants inorganiques en mica. Cependant, l'importance des DP dans ces machines est un signe généralement révélateur de la présence d'anomalies dans le système d'isolation, liées par exemple à des problèmes de fabrication ou à des détériorations dues au fonctionnement, plutôt qu'une cause directe de défaillance. Toutefois, compte tenu des processus individuels, les DP dans les machines peuvent également attaquer directement le système d'isolation et influencer ainsi le processus de vieillissement. La durée de fonctionnement avant défaillance peut ne pas avoir de rapport avec les niveaux de DP, mais elle dépend dans une large mesure d'autres facteurs tels, que par exemple, la température de fonctionnement, l'état des cales d'encoches, le degré de contamination, etc.

La mesure des DP et l'analyse de leur comportement spécifique peuvent être pleinement exploitées pour la maîtrise de la qualité de nouveaux enroulements et de leurs composants et pour la détection précoce des anomalies, dans le système d'isolation, imputables à des conditions ambiantes, à des facteurs thermiques et électriques et à des mécanismes de vieillissement en service susceptibles de conduire à un défaut d'isolement.

4.2 Types de DP dans les machines tournantes

4.2.1 Généralités

Les décharges partielles peuvent se développer à travers le système d'isolation des enroulements statoriques et elles peuvent être imputables à des technologies et des anomalies de fabrication et à un processus normal ou anormal de vieillissement en cours d'exploitation. La conception des machines, la nature des matériaux mis en œuvre, les méthodes de fabrication, les conditions de fonctionnement, etc. peuvent influencer profondément la grandeur, l'implantation, les caractéristiques, l'évolution et la portée des décharges partielles. Pour une machine donnée, les différentes sources de DP peuvent être dans de nombreux cas identifiées et localisées par le comportement caractéristique des décharges partielles.

4.2.2 Décharges internes

4.2.2.1 Vacuoles

Bien que les procédés de fabrication soient conçus de manière à réduire au minimum les vacuoles d'air, les bandes de mica imprégné de résine d'un système d'isolation, généralement utilisées dans les machines tournantes à haute tension, contiennent inévitablement une certaine proportion de vides. En fait, le mica mis en œuvre dans le système d'isolation empêche la propagation des décharges partielles de provoquer un claquage total. Tant que la taille des vacuoles demeure réduite et qu'elle n'évolue pas de manière significative, la fiabilité opérationnelle n'est pas affectée.

4.2.2.2 Délamination interne

Une délamination interne dans le système d'isolation de base peut être provoquée par un traitement thermique imparfait du système d'isolation, lors de la fabrication, ou par des contraintes mécaniques ou thermiques excessives en cours de fonctionnement. Des vides de taille importante peuvent se former sur une surface appréciable et être à l'origine de décharges d'une énergie relativement élevée qui finit par attaquer de manière significative le système d'isolation. La délamination réduit tout particulièrement la conductivité thermique du dispositif d'isolement ce qui peut conduire à une accélération du processus de vieillissement, voire à un emballement thermique. Par conséquent, la délamination mérite une attention particulière et elle doit être prise en considération lors de l'évaluation de l'activité des décharges partielles.

Stator winding insulation systems for high voltage machines will normally have some PD activity, but are inherently resistant to partial discharges due to their inorganic mica components. However, significant PD in these machines is usually more a symptom of insulation deficiencies, like manufacturing problems or in-service deterioration, rather than being a direct cause of failure. Nevertheless, depending on the individual processes, PD in machines may also directly attack the insulation and thus influence the ageing process. The time to failure may not correlate with PD levels, but depends significantly on other factors, for example operating temperature, wedging conditions, degree of contamination, etc.

The measurement and the analysis of the specific PD behaviour can be efficiently used for quality control of new windings and winding components and for early detection of insulation deficiencies caused by thermal, electrical, ambient and mechanical ageing factors in service, which might result in an insulation fault.

4.2 Types of PD in rotating machines

4.2.1 General

Partial discharges may develop throughout the stator winding insulation system due to specific manufacturing technologies, manufacturing deficiencies, normal in-service ageing, or abnormal ageing. Machine design, the nature of the materials used, manufacturing methods, operating conditions, etc. can profoundly affect the quantity, location, characteristics, evolution and the significance of PD. For a given machine, the various PD sources may be identified and distinguished in many cases by their characteristic PD behaviour.

4.2.2 Internal discharges

4.2.2.1 Internal voids

Although manufacturing processes are designed to minimize internal voids, inevitably there is some void content in a resin impregnated mica tape insulation system that is normally used in high voltage rotating machines. Actually, the mica in the insulation system prevents the partial discharges from developing into a complete breakdown. As long as internal voids are small and do not significantly enlarge, operational reliability is not reduced.

4.2.2.2 Internal delamination

Internal delamination within the main insulation can be caused by imperfect curing of the insulation system during manufacturing or by mechanical or thermal over-stressing during operation. Large voids may develop over a large surface resulting in discharges of relatively high energy, which may significantly attack the insulation. In particular, delamination will reduce the thermal conductivity of the insulation, which might lead to accelerated ageing or even a thermal runaway. Thus, delamination needs careful consideration when PD activity is being assessed.

4.2.2.3 Décollement entre conducteurs et matériaux d'isolation

Le décollement au niveau de l'interface entre le matériau conducteur en cuivre et l'isolation principale, généralement due aux variations excessives du cycle thermique, présente un danger dans la mesure où l'isolation des spires ou brins des conducteurs peut être gravement endommagée.

4.2.3 Décharges d'encoche

Dans les machines à haute tension, les décharges qui se produisent au niveau des encoches se développent en cas d'endommagement du revêtement conducteur de la partie couverte par les encoches dû au déplacement des barres/bobines à l'intérieur de l'encoche ou dans la zone extérieure adjacente aux encoches, par exemple par défaut de pression des cales d'encoches suite à un affaissement, une érosion du matériau, une abrasion ou une attaque par des produits chimiques ou en raison de défauts de fabrication. Les décharges à haute énergie se produisent en présence d'une détérioration mécanique déjà sérieuse, ce qui peut entraîner un endommagement supplémentaire de l'isolation principale et finalement un défaut d'isolement. Au stade précoce, les décharges d'encoche sont des étincelles dues aux vibrations plutôt que des décharges partielles classiques. Ce phénomène d'étincelles dues aux vibrations peut se produire également à des endroits à basse tension, par exemple à proximité du point de connexion en étoile de l'enroulement. Bien que le temps absolu entre le moment de détection de ce phénomène et l'occurrence d'une défaillance de l'isolation soit inconnu, mais éventuellement court, une détection fiable à un stade précoce est nécessaire dans la mesure où elle permet d'entreprendre une action corrective appropriée.

4.2.4 Décharges superficielles de développante

Des décharges partielles peuvent se produire à plusieurs endroits dans la zone de la développante et en cas de champs électriques localement élevés. De telles décharges se développent généralement aux interfaces entre différents éléments des développantes. Lorsque le revêtement de protection anti-effluves de la développante perd de son efficacité en raison d'une mauvaise conception des liaisons d'interface, de contamination, de porosité, d'effets thermiques, etc., une répartition efficace du champ électrique n'est plus assurée ce qui provoque le développement de décharges superficielles qui peuvent être à l'origine d'une érosion progressive des matériaux. Il s'agit généralement d'un lent mécanisme de défaillance, même si le comportement des DP peut connaître des variations relativement rapides dues à des effets superficiels. En outre, les DP peuvent se produire entre phases, par exemple en raison d'une distance d'isolement inadéquate entre interfaces, au niveau des éléments du support des développantes, ou entre phase et terre à la surface de la tête de bobine.

4.2.5 Particules conductrices

La présence de particules conductrices, particulièrement les petites particules, dues, par exemple, à une contamination de l'enroulement, peut provoquer une forte concentration localisée de décharges partielles. Celles-ci peuvent provoquer un "trou d'épingle" ou une "piqûre" dans l'isolation.

4.3 Propagation des impulsions dans les enroulements

A l'origine, un courant de décharges partielles peut être caractérisé par une impulsion transitoire d'un temps de montée de quelques nanosecondes seulement. Pour ces impulsions de DP qui se situent dans le domaine spectral des hautes fréquences, les enroulements statoriques représentent des objets dont la répartition des éléments favorise l'apparition des phénomènes d'ondes progressives, de couplages capacitifs et inductifs complexes et de résonance. Par conséquent, le phénomène de propagation des impulsions de décharges partielles mérite d'être pris en considération. En raison de l'affaiblissement, de la distorsion, de la réflexion et du couplage croisé des signaux d'ondes progressives, la forme et l'amplitude du signal de décharge partielle, telles qu'elles sont enregistrées aux bornes des enroulements, diffèrent de celles observées au point d'origine. Compte tenu de ce qui précède, les points suivants sont très importants pour l'interprétation des résultats de mesure des DP sur les machines tournantes:

4.2.2.3 Delamination between conductors and insulation

Delamination at the interface of the copper conductor and the main insulation that usually results from excessive thermal cycling is dangerous since the turn or strand insulation of the conductors can be severely damaged.

4.2.3 Slot discharges

Slot discharges in high voltage machines will develop when the conductive slot portion coating is damaged due to bar/coil movement in the slot or slot exit area, for example by a loss of wedging pressure due to settlement, erosion of the material, abrasion, chemical attack or manufacturing deficiencies. High-energy discharges will develop when serious mechanical damage is already present, which may result in additional damage to the main insulation and eventually in an insulation fault. In the early stage, slot discharges are rather vibration sparking than being classical partial discharges. This vibration sparking may also occur at low potential sites, for example close to the star point of the winding. Though the absolute time between detection of this phenomenon and final insulation failure is unknown, but could be short, reliable detection at an early stage is necessary to initiate appropriate remedial action.

4.2.4 End-winding surface discharges

Partial discharges in the end-winding area may occur at several locations with high local electric field strengths. Such discharges usually occur at interfaces between different elements of the stator winding overhang. If the stress control coating of the end-winding becomes ineffective because of poorly designed interfaces, contamination, porosity, thermal effects, etc. reliable field grading is no longer assured and surface discharges will develop, which may gradually erode the materials. This is normally a very slow failure mechanism, even though the PD behaviour might be subjected to relatively fast changes due to surface effects. In addition, PD may occur between phases, for example due to inadequate interface clearance, at elements of the overhang support system, or as phase to ground discharges on the end-winding surface.

4.2.5 Conductive particles

Conductive particles, especially small particles, for example due to contamination of the winding, may result in a strong local concentration of partial discharges. This may result in a 'pin-hole' in the insulation.

4.3 Pulse propagation in windings

At its origin a partial discharge current can be characterized as a transient pulse with a rise time of only a few nanoseconds. For these short PD pulses with a high frequency spectrum, the stator windings represent objects with distributed elements in which travelling wave, complex capacitive and inductive coupling, and resonance phenomena occur. Therefore, PD pulse propagation phenomena need to be considered. Due to the attenuation, distortion, reflection and cross-coupling of travelling wave signals, the form and magnitude of the PD signal recorded at the terminals of the winding differ from those at the point where it originates. With that in mind, the following points are very important for interpreting PD measurements taken on rotating machines:

- la fonction de transfert entre la source et le détecteur de DP est inconnue et dépend de la conception spécifique de la machine qui détermine la réponse en fréquence de l'enroulement statorique. Pour cette raison, l'énergie à la source des DP, qui peut être prise comme une mesure de l'effet érosif sur l'isolation, ne peut faire l'objet d'une mesure directe;
- en termes de transmission des hautes fréquences, le comportement individuel d'un enroulement statorique génère aux bornes des signaux de DP qui sont caractéristiques de la machine soumise à essai et de l'emplacement de la source des décharges partielles;
- les composantes très haute fréquence des signaux de DP subissent un affaiblissement considérable lors de leur propagation à travers l'enroulement et, en fonction de l'origine des décharges partielles, elles pourraient ne plus être détectables aux bornes de l'objet soumis à essai.

Par conséquent, les phénomènes évoqués ci-dessus suggèrent que la conception particulière des enroulements statoriques n'est pas la seule à influencer de manière significative les caractéristiques du signal détecté aux bornes de l'enroulement, mais que la réponse en fréquence spécifique du système de détection des DP, y compris les dispositifs de couplage, y contribuent également.

5 Techniques et appareils de mesure

5.1 Généralités

Conformément à la CEI 60270, le présent article traite seulement des méthodes électriques de mesure des décharges partielles car la mesure électrique et par conduction des décharges partielles est la méthode la plus communément utilisée pour l'évaluation du système d'isolation des enroulements des machines tournantes. L'Annexe B dresse une liste des méthodes non électriques de mesure et de localisation.

Les systèmes de mesure des décharges partielles peuvent être répartis en sous-systèmes: dispositif de couplage, système de transmission (par exemple câble de connexion ou liaison optique) et appareil de mesure. Généralement, le système de transmission ne contribue pas aux caractéristiques du circuit, hormis un certain affaiblissement éventuel des signaux, et il ne sera donc pas pris en considération.

5.2 Influence de la réponse en fréquence du système de mesure

La réponse en fréquence du système de détection des décharges partielles, y compris l'ensemble de couplage des DP, détermine la quantité d'énergie détectable au niveau du signal de DP provenant de l'enroulement. La réponse en fréquence du système, et tout particulièrement le type d'ensemble de couplage mis en œuvre, a donc un effet considérable sur la sensibilité globale du système de détection. En raison des différentes valeurs de la fréquence de coupure inférieure, les relations qualitatives suivantes sont fondamentalement applicables lors des essais portant sur des enroulements complets:

- la mesure dans la gamme de fréquences inférieure assure une bonne sensibilité non seulement aux décharges partielles dans les barres/bobines situées à proximité du détecteur mais également à celles dont la source est plus éloignée dans l'enroulement. Toutefois, la gamme de fréquences inférieure est plus exposée aux bruits et aux perturbations;
- la mesure dans la gamme des très hautes fréquences peut permettre de ne capter qu'une petite portion de l'énergie totale des décharges partielles, ce qui se traduit par une sensibilité aux seuls signaux issus des points situés à proximité immédiate du détecteur. Toutefois, cette gamme de fréquences peut être moins sensible aux bruits et aux perturbations.

Pour obtenir une sensibilité adéquate aux DP sur l'ensemble de l'enroulement, il est judicieux, lors des essais à l'arrêt, d'utiliser des systèmes de mesure de DP à large bande. Conformément à la CEI 60270, il convient que la fréquence de coupure inférieure se situe dans une gamme de quelques dizaines de kHz.

- the transmission function from the PD source to the PD sensor is unknown and depends on the specific design of the machine which determines the frequency response of the stator winding. Therefore, the energy at the source of the PD, which can be taken as a measure of the erosion of the insulation, cannot be measured directly;
- the individual high frequency transmission behaviour of a stator winding produces PD signals at the terminals that are a characteristic of the machine being tested and of the location of the PD source;
- very high frequency components of PD signals are subject to considerable attenuation when travelling through the winding and, depending on the origin of the PD, might not be detectable at the terminals of the test object

As a consequence of the above-mentioned phenomena not only the particular stator winding design but also the specific frequency response of the PD detection system, including coupling devices, will significantly influence the characteristics of the signal detected at the terminals of the winding.

5 Measuring techniques and instruments

5.1 General

In line with IEC 60270, this clause deals solely with electrical methods of measuring partial discharges because the electrical, conductive measurement of partial discharges is the most commonly used method of assessing the winding insulation of rotating machines. Non-electrical methods of measurement and localization are listed in Annex B.

Partial discharge measuring systems can be divided into subsystems: coupling device, transmission system (for example, connecting cable or optical link) and measuring instrument. In general, the transmission system does not contribute to the circuit characteristics, apart from some possible signal attenuation, and will thus not be taken into consideration.

5.2 Influence of frequency response of measurement system

The frequency response of the PD detection system, including the PD coupling unit, determines how much energy of the PD signal from the winding can be detected. Thus, the frequency response of the system, especially the type of coupling unit being used, has a considerable impact on the overall sensitivity of detection. Due to the different values of lower cut-off frequency, the following qualitative relationships are basically applicable when testing complete windings:

- measurement in the lower frequency range ensures good sensitivity not only for partial discharges in bars/coils close to the sensor but also for those that originate from further away in the winding. However, the lower frequency range is more subjected to noise and disturbances;
- measurement in the very high frequency range may acquire only a very small proportion of the total PD energy, which results in sensitivity to signals originating only very close to the sensor. However, this frequency range may be less susceptible to noise and disturbance.

For off-line PD testing to obtain appropriate sensitivity to PD from the whole winding it is advisable to use wide band PD measuring systems. The lower cut-off frequency should be in the range of several tens of kHz in accordance with IEC 60270.

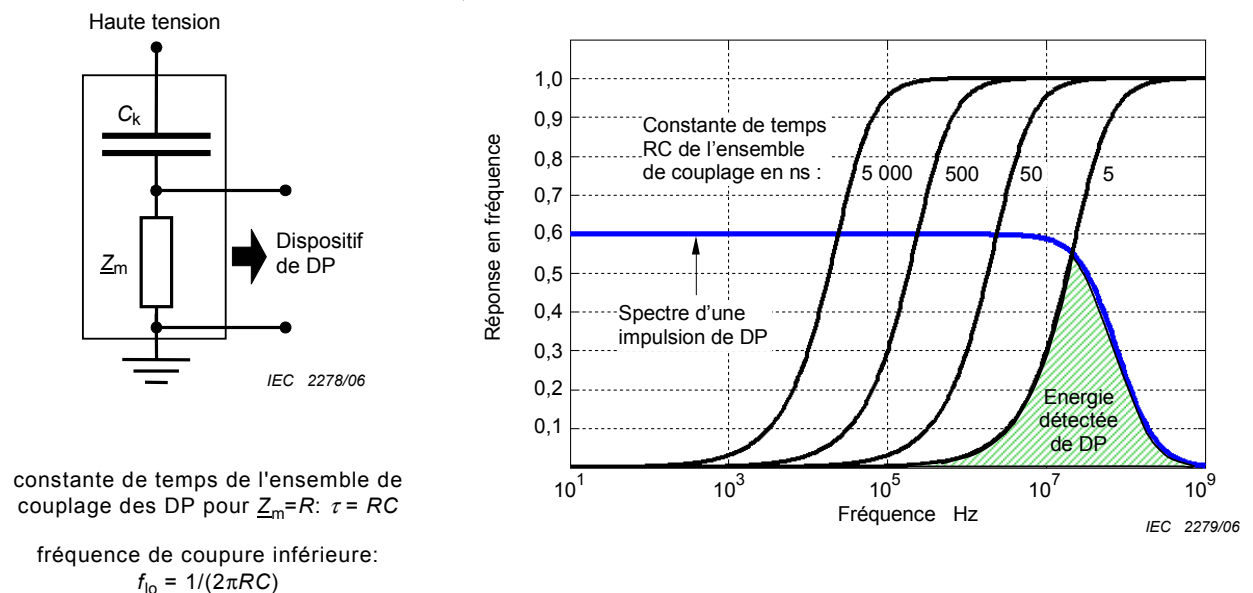
Il convient de noter qu'en fonction de la conception de l'enroulement et du dispositif de mesure mis en place, des phénomènes de résonance, dans la gamme de fréquences du dispositif de mesure des DP, peuvent se produire et avoir ainsi un effet sur les résultats de mesure des DP.

5.3 Effets des ensembles de couplage des DP

Pour les mesures à l'arrêt des DP, effectuées sur des enroulements statoriques, et les essais réalisés sur les composants des enroulements et destinés à la détection des DP, des ensembles de couplage capacitif sont souvent utilisés. Ces derniers intègrent un condensateur à haute tension et un dispositif de couplage à basse tension montés en série. Lors des essais effectués sur des composants d'enroulements, le dispositif de couplage peut être aussi branché en série à l'objet soumis à essai (voir Figure 5b). Le dispositif de couplage à basse tension est relié au système de transmission.

Le condensateur à haute tension, le dispositif de couplage, le système de transmission et l'impédance du circuit d'entrée du système de mesure constituent un filtre passe-haut. Par conséquent, une impédance accrue au niveau du circuit d'entrée ou des valeurs capacitives plus élevées contribuent à augmenter la sensibilité.

La Figure 1 montre de manière schématique la réponse en fréquence d'une impulsion idéale de DP et les fonctions de transfert de divers ensembles de couplage de DP intégrant un condensateur à haute tension et une résistance de mesure d'impédance $Z_m=R$ côté basse tension. Le point de chevauchement identifié des spectres de l'impulsion de DP et de l'ensemble de couplage, illustré à Figure 1, à une constante de temps RC de 5 ns, détermine l'énergie du signal qui peut être mesurée. Dans la pratique, de tels systèmes affichent des caractéristiques de filtre passe-bande en raison des composants parasites L et C .



Composants

- Z_m impédance de mesure
- C_k condensateur de couplage

Figure 1 – Réponse en fréquence d'une impulsion de DP et dispositifs de couplage de différentes constantes de temps

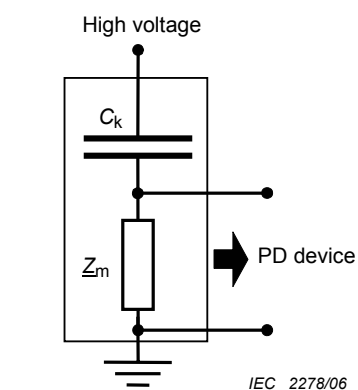
It should be noted that depending on the winding design and the measurement arrangement used, resonance phenomena that are in the frequency range of the PD measuring device may occur and therefore may also influence PD results.

5.3 Effects of PD coupling units

For off-line PD measurements on stator windings and PD tests on winding components capacitive coupling units are often used. These consist of a high voltage capacitor and a low voltage coupling device in series. When testing individual winding components, the coupling device may also be connected in series to the test object (see Figure 5b). The low voltage coupling device is connected to the transmission system.

The high voltage capacitor, the coupling device, the transmission system and the input impedance of the measurement system represent a high-pass filter. Therefore, increased input impedance or higher capacitance values lead to an increased sensitivity.

Figure 1 shows schematically the frequency response of an idealized PD pulse and the transfer functions of different PD coupling units with a high voltage capacitor and a resistive measuring impedance $Z_m=R$ at the low voltage side. The marked overlap of the spectra of the PD pulse and the coupling unit, shown in Figure 1, for an RC time constant of 5 ns, determines the signal energy which can be measured. In practical cases, such systems show band pass filter characteristics due to parasitic L and C components.



time constant of PD coupling unit

for $Z_m=R$: $\tau = RC$

lower cut-off frequency:

$$f_{l0} = 1/(2\pi RC)$$

Components

Z_m measuring impedance

C_k coupling capacitor

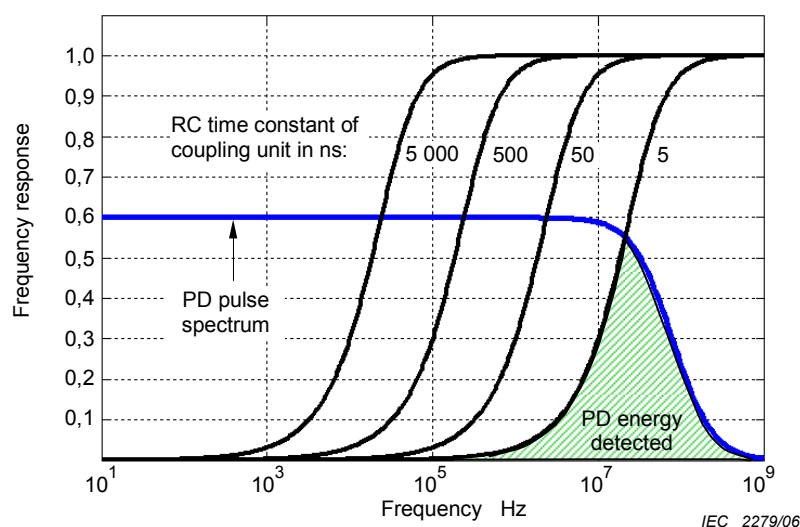


Figure 1 – Frequency response of a PD pulse and coupling units of various time constants

Les impulsions de DP subissent un affaiblissement et se dispersent par propagation, particulièrement à hautes fréquences, à travers l'enroulement. Par conséquent, les systèmes de mesure à fréquence de coupure inférieure dans la gamme de fréquences inférieure offrent généralement une bonne sensibilité moyenne aux DP au niveau de l'ensemble de l'enroulement.

Lorsque des mesures sont effectuées sur des composants individuels d'enroulements, le condensateur de couplage à haute tension est relié au conducteur en cuivre. Pour les mesures des DP réalisées sur des enroulements complets, l'ensemble de couplage est relié aux bornes de la machine ou directement aux conducteurs de l'enroulement à l'intérieur de la carcasse.

Les dispositifs de couplage à basse tension suivants sont généralement associés au condensateur à haute tension:

- filtres RLC ou réseaux quadripôles (voir CEI 60270), où une inductance sert à supprimer la composante de fréquence industrielle;
- transformateurs de courant à haute fréquence (RF-CT) qui peuvent également servir à assurer une séparation galvanique entre les circuits à haute tension et le dispositif de mesure.

Un transformateur de courant à haute fréquence (RF-CT) relié à des câbles de terre peut également être utilisé comme dispositif de couplage autonome. En cas d'utilisation d'émetteurs de signaux à fibres optiques, il est également possible d'installer les dispositifs de couplage côté haute tension du condensateur.

5.4 Systèmes de mesure à large bande et à bande étroite

Les systèmes de mesure des DP se distinguent principalement par leurs bandes passantes respectives. Les impulsions de DP parvenant aux bornes ont un spectre de fréquence qui dépend de manière caractéristique de la fonction de transmission de l'enroulement de la machine. Le signal mesuré de DP est ainsi plus ou moins affecté, et ce en fonction de la bande passante du système de mesure. De plus, les systèmes d'isolation micacés se caractérisent par un haut taux de répétition des impulsions de DP. La Figure 2 présente des réponses impulsionnelles types de différents systèmes de mesure. La trace supérieure affichée sur les oscillogrammes représente l'impulsion d'entrée et la trace inférieure la réponse impulsionnelle du système de mesure:

- 1) système à large bande : (a) faible taux de répétition des impulsions, (b) fréquence accrue, (c) haute fréquence à l'origine de la superposition des impulsions,
- 2) système à bande étroite: (a) faible taux de répétition des impulsions, (b) fréquence accrue, (c) haute fréquence à l'origine de la superposition des impulsions.

PD pulses are attenuated and dispersed especially at higher frequencies while propagating through the winding. Therefore, measurement systems with lower cut-off frequency in the lower frequency range usually provide an average good sensitivity to PD from the whole winding.

When taking measurements on individual winding components, the high voltage coupling capacitor is connected to the copper conductor. For PD measurements on complete windings, the coupling unit is connected to the terminals of the machine or inside the frame directly to the winding conductors.

The following low voltage coupling devices are typically combined with the high voltage capacitor:

- RLC filters or four-terminal networks (see IEC 60270) wherein an inductance serves to suppress the power frequency component;
- high-frequency current transformers (RF-CT) which may also serve to galvanically separate the high voltage circuitry from the measuring device.

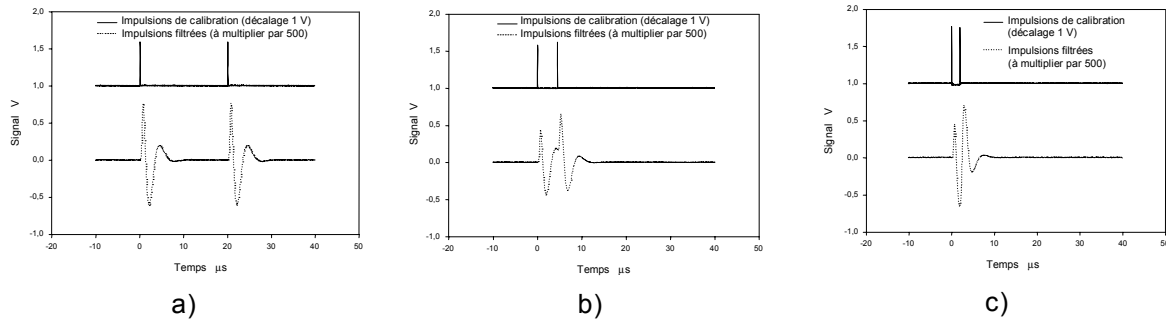
RF-CT connected with ground wires can also be used as a standalone coupling device. When using fibre optical signal transmitters, the coupling devices can also be installed on the HV side of the capacitor.

5.4 Wide-band and narrow band measuring systems

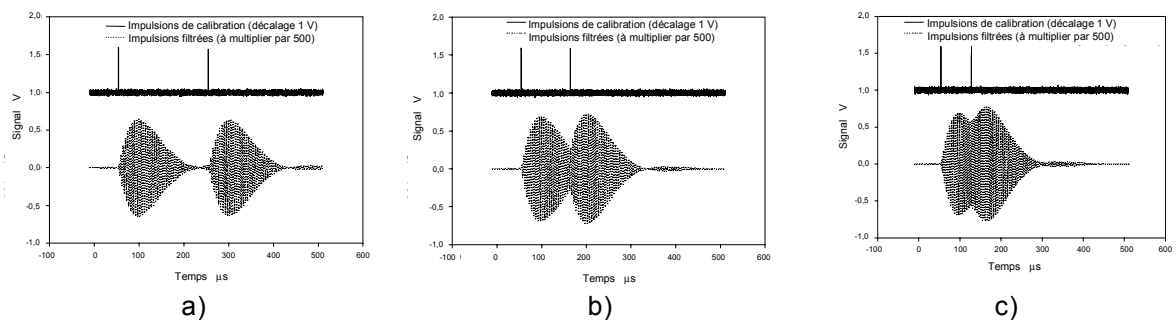
The principal difference between the various PD measuring systems is their bandwidth. The PD pulses arriving at the terminals have a frequency spectrum characterized by the transmission function of the machine winding. The measured PD signal will be affected to a greater or lesser degree depending on the bandwidth of the measuring system. Furthermore, micaceous insulation systems are characterized by a high repetition rate of PD pulses. Figure 2 shows typical pulse responses of different measuring systems. The upper trace of the oscillograms represents the input pulse, and the lower trace the pulse response of the measuring system:

- 1) wide band system: (a) low pulse repetition rate, (b) increased rate, (c) high rate leading to superposition of pulses,
- 2) narrow band system: (a) low pulse repetition rate, (b) increased rate, (c) high rate leading to superposition of pulses.

1) Système à large bande: Δf à -3 db: 210 kHz (filtres de 2^{ème} ordre)



2) Système à bande étroite: Δf à -3 db: 9 kHz (filtres de 2^{ème} ordre)



IEC 2280/06

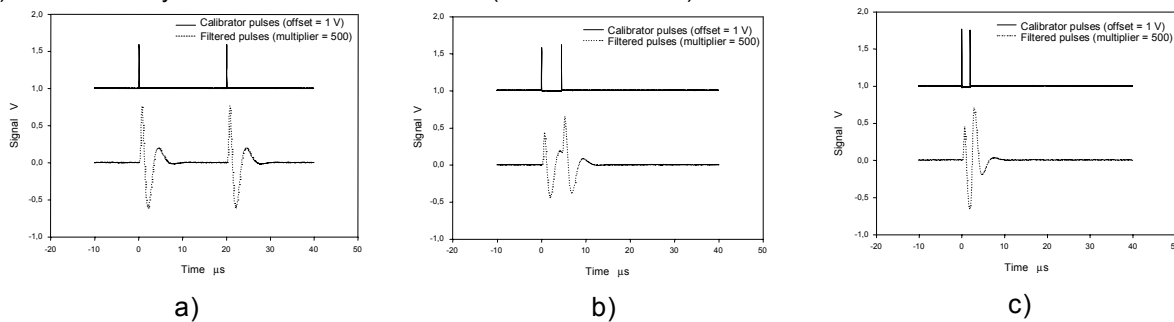
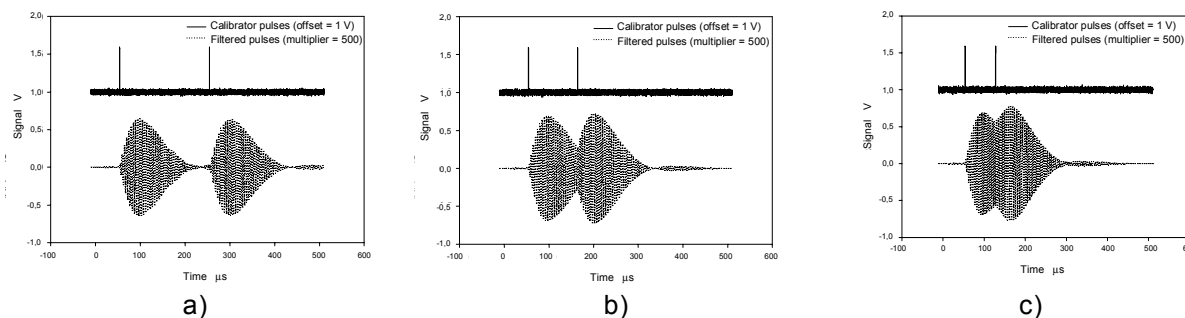
Figure 2 – Réponses impulsionnelles types de systèmes de mesure de DP à large bande et à bande étroite

(1) Systèmes à large bande

Conformément à la CEI 60270, les systèmes de mesure des DP sont dits à large bande lorsque leur bande passante dépasse 100 kHz. Pour les machines tournantes, des systèmes de mesure de ce type, d'une bande passante maximale d'environ 1 MHz, sont généralement utilisés. Certains systèmes disposent de bandes passantes allant jusqu'à 500 MHz. La bande passante du système est déterminée par la réponse en fréquence de l'ensemble de couplage et par le mode de traitement du signal dans l'appareil de mesure.

La plus grande partie des dispositifs de mesure de DP à large bande est conforme aux exigences de la CEI 60270. La fréquence limite inférieure est réglée à ≥ 10 kHz afin de supprimer la fréquence du réseau et les harmoniques celle-ci. La fréquence limite inférieure peut être variable et atteindre une valeur maximale de quelques centaines de kHz afin de supprimer les perturbations externes, par exemple les impulsions de commutation provenant d'éléments à semi-conducteurs des installations du réseau. Les bandes passantes types d'un grand nombre de dispositifs de mesure varient entre 100 kHz et 1 MHz.

Certains dispositifs de mesure de DP disposent de bandes passantes de plusieurs 100 MHz avec des options permettant d'intégrer des oscilloscopes numériques. Les valeurs mesurées en amplitude des impulsions ne sont pas étalonnées ou normalisées en unités de charge, conformément à la CEI 60270, mais exprimées en mV. Parmi ces appareils, certains sont capables de supprimer des signaux perturbateurs extérieurs par des méthodes de mesure différentielle.

1) Wide band system: Δf at –3 db: 210 kHz (2nd order-filters)2) Narrow band system: Δf at –3 db: 9 kHz (2nd order-filters)

IEC 2280/06

Figure 2 – Typical pulse responses of wide band and narrow band PD systems

(1) Wide band systems

In accordance with IEC 60270, PD measuring systems are defined as wide band if their bandwidth exceeds 100 kHz. With rotating machinery, wide-band measuring systems are typically used up to a bandwidth of approximately 1 MHz. Some systems use bandwidths of up to 500 MHz. The system bandwidth is determined by the frequency response of the coupling unit and by the signal processing in the measuring instrument.

Most of the wide band PD measuring devices conform to the requirements of IEC 60270. The lower limit frequency is set to ≥ 10 kHz to suppress mains frequency and its harmonics. The lower limit frequency may be variable up to a few hundred kHz to suppress external disturbances, for example commutating pulses from power semiconductors. Typical bandwidths of many measuring devices vary between 100 kHz and 1 MHz.

Some PD measuring devices use bandwidths of several 100 MHz with options to include digital oscilloscopes. The measured values of pulse amplitude are not calibrated or normalized in units of charge, in accordance with IEC 60270, but are quoted in mV. Some of these instruments are able to suppress external disturbance signals by means of differential measurements.

(2) Systèmes à bande étroite

Les dispositifs de mesure de DP à bande étroite se caractérisent par une faible bande passante variant de 9 kHz à 30 kHz avec une fréquence centrale réglable dans une gamme étendue maximale de 1 MHz. Le grand nombre de décharges partielles dans un système d'isolation micacé, associé au long temps de décroissance des impulsions en oscillation, peut conduire à une superposition de décharges successives (voir Figure 2). De ce fait, des erreurs de lecture des impulsions individuelles peuvent se produire. Par conséquent, les systèmes de mesure à bande étroite sont moins fréquemment utilisés pour les besoins de mesure des décharges partielles sur les machines tournantes.

(3) Systèmes de mesure du débit quadratique

Le débit quadratique, conformément à la CEI 60270, est exprimé en (coulombs)² par seconde et attribue une plus grande importance aux impulsions de plus grande amplitude. La fréquence centrale d'un filtre à bande étroite est réglée à quelques kHz, avec une bande passante étroite de quelques centaines de Hz. Les signaux en sortie du filtre sont transmis à un détecteur de débit quadratique où les résultats sont exprimés en décibels au-dessus d'un certain niveau défini en C²/s. La détection, en termes de débit quadratique, élimine, jusqu'à une certaine limite, l'altération des valeurs de lecture lorsque l'intervalle de temps entre décharges successives est aléatoire. Dans ce cas, la valeur de lecture est proportionnelle à l'énergie dissipée dans les décharges internes.

6 Visualisation des mesures

6.1 Généralités

Etant donné qu'un système d'isolation est censé faire l'objet d'une évaluation, il convient que les données relatives aux DP enregistrées par l'un des dispositifs de mesure décrits à l'Article 5 subissent un traitement approprié. Dans la mesure où le degré de détérioration du système d'isolation, et par conséquent le niveau du risque de défaillance, sont directement liés à la nature particulière de la source de décharges partielles, il est nécessaire de recueillir des informations fiables sur le type de sources de décharges partielles soumises aux mesures. Divers types de traitements visuels de données peuvent être affichés et employés à cet effet.

6.2 Etendue minimale de la présentation des données relatives aux DP

Afin d'évaluer le comportement des décharges partielles, il est recommandé de faire au moins appel aux paramètres classiques de mesure des décharges partielles, à savoir:

- l'amplitude des DP, et
- la valeur efficace de la tension d'essai.

L'amplitude des DP, celle dont la répétition est la plus fréquente, peut être exprimée en termes de tension [mV] ou en termes de charge apparente [pC], et évaluée conformément à la CEI 60270. En principe, l'unité de mesure utilisée pour quantifier l'amplitude des DP est arbitraire. Dans l'affichage obtenu à partir de ces deux paramètres, l'amplitude des DP, Q_m , rapportée à la tension d'essai, U , appliquée à l'enroulement ou l'élément d'enroulement, correspond à la fonction $Q_m = f(U)$ pour une tension croissante et décroissante. La tension d'essai, conformément à 9.1.5, augmente ainsi jusqu'à une valeur maximale spécifiée, de manière continue ou progressivement par échelons choisis de manière adéquate, avant d'être réduite à la valeur minimale de la tension d'essai.

(2) Narrow band systems

Narrow band PD measuring devices are characterized by a small bandwidth of 9 kHz to 30 kHz with an adjustable centre frequency in a wide range of up to 1 MHz. The large number of partial discharges in mica insulation in conjunction with the long decay time of the oscillating pulses may lead to a superposition of successive discharges (see Figure 2). Thus, the readings of the individual pulse charge may be erroneous. Consequently, narrow band measuring systems are less frequently used for taking partial discharge measurements on rotating machinery.

(3) Quadratic rate based systems

The quadratic rate in accordance with IEC 60270 is expressed as $(\text{coulombs})^2$ per second and assigns greater weight to larger pulses. The centre frequency of a narrow band filter is set to several kHz, with a narrow bandwidth of several hundred Hz. The output of the filter is sent to a quadratic rate detector where the results are expressed in decibels above a certain level defined in C^2/s . Detection in quadratic rate eliminates, up to a certain limit, the falsification of readings when the time between successive discharges is randomized. In that case, the reading is proportional to the energy dissipated in internal discharges.

6 Visualization of measurements

6.1 General

In view of the fact that it is the condition of the insulation system that is being assessed, the PD data recorded with one of the measuring devices described in Clause 5 should be processed appropriately. Since the degree of damage to the insulation system, and therefore the risk of failure, is directly related to the particular nature of the partial discharge source, it is necessary to obtain reliable information on the kind of partial discharge sources that are measured. Various types of visual data processing can be employed for this purpose.

6.2 Minimum scope of PD data presentation

To evaluate the PD behaviour, it is recommended that at least the classic parameters of partial discharge measurement, are used as follows:

- the PD magnitude, and
- the r.m.s. value of test voltage.

The PD magnitude, as the largest repeatedly occurring magnitude, can be expressed in terms of voltage [mV] or in terms of apparent charge [pC] and evaluated in accordance with IEC 60270. In principle, the measuring unit used for quantifying the PD magnitude is arbitrary. In the display obtained from these two parameters, the PD magnitude Q_m related to the test voltage U applied to the winding or winding element is shown as function $Q_m = f(U)$ for increasing and decreasing voltage. Here, the test voltage, in accordance with 9.1.5, is increased to a specified maximum value, either continuously or in suitably chosen steps, before being reduced to the minimum test voltage.

En outre, la tension d'apparition U_i (TADP) et la tension d'extinction U_e (TEDP) des décharges partielles au niveau de l'objet soumis à essai peuvent être déterminées, conformément à la CEI 60270, à partir de la courbe $Q_m = f(U)$ donnée dans la Figure 3. Les tensions d'apparition et d'extinction dépendent de la valeur de seuil inférieure spécifiée de l'amplitude des DP. Par conséquent, le seuil de détection permettant d'évaluer la TADP et la TEDP peut varier de manière significative en fonction du niveau de bruit de fond lors de l'essai.

La Figure 3 présente un exemple du diagramme $Q_m = f(U)$. Il est préférable de prévoir la tension sur l'axe des abscisses et l'amplitude des DP sur celui des ordonnées. L'axe des tensions est gradué selon une échelle linéaire. L'établissement de tensions normalisées selon des valeurs de référence prédéterminées, par exemple la tension d'essai maximale U_{max} , facilite les comparaisons. L'axe d'amplitude des DP peut être gradué selon une échelle linéaire ou logarithmique.

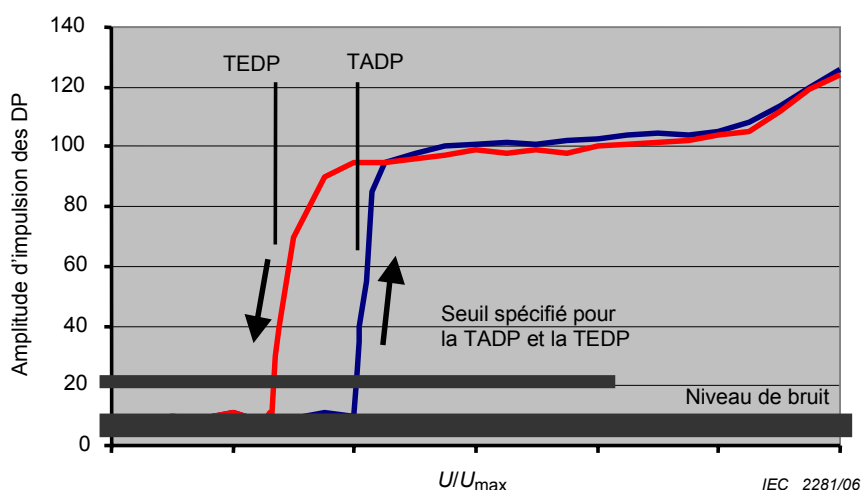


Figure 3 – Amplitude des DP en fonction de la tension d'essai normalisée $Q_m = f(U/U_{max})$

6.3 Moyens supplémentaires de représentation des données relatives aux DP

6.3.1 Généralités

En cas d'utilisation de dispositifs de mesure de DP numériques, l'amplitude des DP, q_i , est obtenue pour le train d'impulsions de DP pour chaque événement individuel impliquant les DP et qui se produit lors de la durée de mesure, et la tension instantanée associée u_i , correspond à l'instant t_i ou, pour des tensions c.a. variant périodiquement, à l'angle de phase ϕ_i dans la période correspondante de la tension d'essai à la fréquence industrielle. Dans chaque cas, les valeurs mesurées des DP sont enregistrées à l'aide d'un type de dispositif de mesure adéquat et conservées de manière à pouvoir les analyser ultérieurement en mettant en œuvre des méthodes appropriées.

Des grandeurs supplémentaires peuvent être dérivées des données relatives aux DP, telles que charge d'intégration, courant de décharge, débit quadratique, puissance des DP et énergie des DP, conformément à la CEI 60270. La grandeur de quantification normalisée NQN des impulsions peut être utilisée également. Toutefois, en cas d'utilisation de systèmes numériques, les grandeurs calculées concernant les DP dépendront des réglages spécifiques de l'appareil lors des essais, tels que celui du seuil de déclenchement, etc. En utilisant des