

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Rotating electrical machines –
Part 27-1: Off-line partial discharge measurements on the winding insulation**

**Machines électriques tournantes –
Partie 27-1: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectués sur le
système d'isolation des enroulements**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Rotating electrical machines –
Part 27-1: Off-line partial discharge measurements on the winding insulation**

**Machines électriques tournantes –
Partie 27-1: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectués sur le
système d'isolation des enroulements**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.160.01

ISBN 978-2-8322-5104-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Nature of PD in rotating machines	12
4.1 Basics of PD	12
4.2 Types of PD in rotating machines.....	13
4.2.1 General	13
4.2.2 Internal discharges	13
4.2.3 Slot discharges.....	13
4.2.4 End-winding gap and surface discharges.....	14
4.2.5 Foreign conductive materials discharges	14
4.3 Pulse propagation in windings.....	14
5 Measuring technologies and instrumentation	15
5.1 General.....	15
5.2 Influence of frequency response of measuring system	15
5.3 Effects of PD coupling units	16
5.4 Effect of the measuring instrument.....	17
6 Visualization of measurements	17
6.1 General.....	17
6.2 Minimum scope of PD data presentation	17
6.3 Additional means of PD data representation.....	18
6.3.1 General	18
6.3.2 Partial discharge pattern.....	19
7 Test circuits.....	19
7.1 General.....	19
7.2 Individual winding components.....	20
7.3 Complete windings.....	21
7.3.1 General	21
7.3.2 Standard measurements (SX.X).....	22
7.3.3 Optional, extended measurements (EX.X)	23
7.3.4 Using integrated test equipment (IX.X)	24
8 Normalization of measurements.....	25
8.1 General.....	25
8.2 Individual winding components.....	26
8.3 Complete windings.....	26
9 Test procedures	28
9.1 Acquiring PD measurements on windings and winding components	28
9.1.1 General	28
9.1.2 Test equipment and safety requirements	28
9.1.3 Preparation of test objects	28
9.1.4 Conditioning	29
9.1.5 Test voltages	29
9.1.6 PD test procedure.....	30

9.2	Identifying and locating the source of partial discharges	32
10	Interpretation of test results	32
10.1	General.....	32
10.2	Interpretation of PD magnitude, inception and extinction voltage.....	33
10.2.1	Basic interpretation.....	33
10.2.2	Trend in PD in a machine over time	34
10.2.3	Comparisons between winding components or between windings	34
10.3	PD pattern recognition	35
10.3.1	General	35
10.3.2	Basic interpretation.....	35
11	Test report.....	37
Annex A (informative)	Influence parameters of test frequency to testing procedure.....	39
Annex B (informative)	Alternative methods to determine discharge magnitudes.....	40
B.1	Q_m , according to definition 3.14.....	40
B.2	Cumulative repetitive PD magnitude Q_r	41
Annex C (informative)	Other off-line methods for PD detection and methods for localization	43
Annex D (informative)	External noise, disturbance and sensitivity.....	44
D.1	General.....	44
D.2	Sensitivity	44
D.3	Noise and signal-to-noise ratio.....	46
D.4	Disturbances.....	46
Annex E (informative)	Methods of disturbance suppression	47
E.1	Frequency range limiting.....	47
E.2	Phase window masking	47
E.3	Masking by noise signal triggering	47
E.4	Noise signal detection by measuring the propagation time	47
E.5	Two-channel signal difference method	48
E.6	Suppression of constant wave (CW) signals by digital filtering	49
E.7	Noise and disturbance rejection using signal processing techniques	49
Annex F (informative)	Interpretation of PD magnitude data and phase resolved PD patterns	52
F.1	Instructions for interpretation of PRPD patterns	52
F.1.1	Example of PRPD patterns	52
F.1.2	Relative severity of different PD mechanisms	54
F.1.3	Interpretation of the PD measurements from the line side and from the star point	55
F.1.4	Inductive discharges / Vibration sparking.....	55
Annex G (informative)	Test circuits for complete windings	57
G.1	General.....	57
G.2	Schemes and illustrations (see Figure G.1).....	57
Annex H (informative)	Wide-band and narrow-band measuring systems	62
H.1	General.....	62
H.2	Wide band systems.....	63
H.3	Narrow band systems	63
Bibliography.....		64

Figure 1 – Frequency response of a PD pulse and coupling units of various time constants	16
Figure 2 – PD magnitude as a function of the normalized test voltage $Q=f(U/U_{\max})$	18
Figure 3 – Example of a PRPD pattern.....	19
Figure 4 – Basic test circuits in accordance with IEC 60270.....	21
Figure 5 – Test circuit for PD measurement (S1.1) on complete windings	22
Figure 6 – Normalization of the test circuit for measurement S1.1	27
Figure 7 – Test voltage applied to the test object during PD measurement.....	30
Figure 8 – Example for identification and localization of PD sources	36
Figure B.1 – Example for the indication of polarity effect.....	40
Figure B.2 – Effect of A/D conversion accuracy and the calculation of Q_r , Example	42
Figure D.1 – Recharging of the test object by various current components.....	45
Figure E.1 – Without window masking.....	47
Figure E.2 – With window masking.....	47
Figure E.3 – Pulse currents through the measuring circuit	48
Figure E.4 – Example of noise rejection	50
Figure E.5 – Example of cross-talk rejection	51
Figure F.1 – Example of PRPD patterns.....	53
Figure G.1 – Illustrated diagrams for Y- and Δ -connections, according to 7.3	61
Figure H.1 – Typical pulse responses of wide band and narrow band PD systems	62
Table 1 – Connection configuration S1 for open star point	22
Table 2 – Connection configuration S2 for closed star point.....	23
Table 3 – Connection configuration E1 for open star point	23
Table 4 – Connection configuration E2 for closed star point.....	24
Table 5 – Connection configuration I1 for integrated equipment and open star point, measurement on high voltage side.....	24
Table 6 – Connection configuration I2 for integrated equipment and open star point, measurement on star point side	25
Table 7 – Connection configuration I3 for integrated equipment and closed star point.....	25
Table A.1 – Recommended minimum measurement time and maximum slew rates	39
Table F.1 – Severity associated with the main PD sources in rotating machines	54

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 27-1: Off-line partial discharge measurements
on the winding insulation**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60034-27-1 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This International Standard cancels and replaces IEC TS 60034-27 (2006). It constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to IEC TS 60034-27 (2006) are as follows:

- In 1st version the scope was not well defined, and open to a too wide range of measurement frequencies. That has been corrected.
- In 1st version pulse magnitude was defined in different ways. Now, 2 definitions are given, one for each method.
- In 1st version the types of PD were erroneous. Especially the definition of the most critical “slot discharges” has been improved.

- Adding one more common test arrangement to Clause 7.
- Adding Annex A.
- Adding Annex B.
- Adding Annex G.
- Moving part of the original text (valid for old fashioned instruments) to new Annex H.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
2/1877/FDIS	2/1887/RVD

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

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

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

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

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

For many years, the measurement of partial discharges (PD) has been employed as a means of assessing the quality of new insulation systems and the condition of aged insulation systems. It is also considered 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 (e.g. the measurement of dissipation factor or insulation resistance) the differentiating character of partial discharge measurements allows PD sources within the insulation system to be detected.

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

- presence of ageing effects and potential defects in the insulating 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 different methods of measurement in existence but also the criteria and methods of analysing and finally assessing the measured data are often different and not comparable. Consequently, there is a 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 (IEC 60034-27-2).

Both of these approaches have advantages and disadvantages with respect to one another. While acknowledging the extensive world-wide use of on-line methods and their proven value to industry, this international standard is confined to off-line techniques. This approach is considered necessary to render this standard sufficiently concise to be of use by non-specialists in the field of PD testing.

Limitations:

When PD measurements are performed on stator windings, several external factors will inevitably affect the result. Consequently, PD measurements are only comparable under certain conditions.

In a factory or site environment, the PD measurement results will be influenced by noise, unless provisions have been made to reduce the influence of noise. Different hardware and software methods, affecting for example measurement frequency band or noise cancellation algorithms, are used in different equipment systems to separate relevant PD signals from noise. Recalculation of the measured PD signal to an equivalent charge is an additional step that will be dependent on the measurement and the calibration equipment that has been used for normalization, as well as the method used.

Measurement conditions including temperature and moisture as well as test object set-up will further affect the PD result. In case of a stator winding, the attenuation and dispersion of the PD pulse during propagation will be dependent on the actual winding design and the origin of the pulse.

Based on the above reasons, absolute PD magnitude limits for the windings of rotating machines, for example as acceptance criteria for production or operation are difficult to define.

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 significantly.

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 (for example insulation failure mechanisms, which are not accompanied by pulse signals due to conductive paths between different elements of the insulation). Pulse signals may further remain undetected in practice due to the impact of electrical noise and disturbance conditions, which limit the detection sensitivity.

For individual bars and coils, absolute limits for PD magnitude are also difficult to establish due to disparities between different test equipment and test setups. Therefore, no absolute limits are given in the current version of this document.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-27-1:2017

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 27-1: Off-line partial discharge measurements on the winding insulation

1 Scope

This part of IEC 60034 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 winding insulation of rotating electrical machines.

The measurement methods described in this document are applicable to stator windings of machines with or without conductive slot coating and to the stator windings of machines made with form wound or random wound windings. In special cases like high voltage rotor field windings, this document is applicable as well. The measurement methods are applicable when testing with alternating sinusoidal voltages from 0,1 Hz up to 400 Hz.

Interpretation guidelines are given in this document and are applicable only if all the following requirements are fulfilled:

- Measurements performed with power frequency of 50 Hz or 60 Hz, or when testing with power supply within a frequency range of 45 Hz to 65 Hz.
- Form wound windings and winding components such as bars and coils.
- Winding with conductive slot coating. This is usually valid for machines with voltage rating of 6 kV and higher.

For machines with random wound windings, form-wound windings without conductive slot coating, and testing at frequencies differing from power frequencies, the interpretation guidelines are not applicable. The testing procedures for off-line PD-measurements of this document can be used for assessing the uniform quality of manufacturing or/and the trending of these kind of windings as well as converter driven machine windings.

NOTE Testing of low voltage machines with so called Type I insulation systems is defined in reference [10]¹. Testing procedures for qualification of converter driven high voltage machines with so called Type II insulation systems are dealt with in IEC 60034-18-42 (in addition to the optional electric tests described therein).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

IEC 60034-18-32, *Rotating electrical machines – Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance*

IEC 60034-18-42, *Rotating electrical machines – Part 18-42: Partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters – Qualification tests*

IEC TS 60034-27-2, *Rotating electrical machines – Part 27-2: On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60034-27-4, *Rotating electrical machines – Part 27-4: Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation of rotating electrical machines*

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*
IEC 60270:2000/AMD1:2015

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.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

partial discharge

PD

localized electrical discharge that only partially bridges the insulation between conductors and which can or cannot occur adjacent to a conductor

3.2

off-line measurement

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

Note 1 to entry: The necessary test voltage is applied to the winding from a separate voltage source.

3.3

on-line measurement

measurement taken with the rotating machine in operation and connected to the power system

3.4

stress control coating

paint or tape on the surface of the groundwall insulation outside the slot section whose purpose is to smoothen the potential differences on the surface of high voltage stator bars and coils

Note 1 to entry: 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.

3.5

conductive slot coating

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

Note 1 to entry: This coating provides electrical contact to the stator core.

3.6

slot discharges

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

3.7

internal discharges

discharges that occur within the groundwall insulation

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 magnitude distribution

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

3.10

pulse phase distribution

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

3.11

partial discharge pattern

number of pulses for a matrix of PD magnitude vs. AC cycle phase position for visualization of the PD behaviour during a predefined measuring time

Note 1 to entry: Another type of representation may be used for the interpretation and source separation, such as frequency vs. time

3.12

coupling device

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

Note 1 to entry: 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

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

largest magnitude associated with a PD pulse repetition rate of 10 pulses per second (pps), which can be directly inferred from a pulse magnitude distribution

Note 1 to entry: Other repetition rates may be used for defining the Q_m , for example 50 or 60 pulses per second. If other rates are used, this needs to be indicated, for example as Q_{m50} or Q_{m60} .

3.15

weighted occurring PD magnitude

Q_{iec}

weighted magnitude recorded by a measuring system which has the pulse train response in accordance with IEC 60270

Note 1 to entry: In this document, the symbol Q will be used as a placeholder for both definitions of charge, Q_m and Q_{iec} .

3.16

noise

signals that clearly are not pulses and are not generated by the stator winding

3.17

disturbance

pulsed signals that clearly are not partial discharges but may have PD like characteristics

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 breakdown of the insulation. 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 electrical field strength at an inhomogeneity exceeds its breakdown strength. This process may result in several PD pulses during one cycle of the applied voltage. In rotating machines with micaceous insulation the occurrence of numerous imperfections like small voids at new insulation and delaminations at aged windings is unavoidable. Therefore, a superposition of PD sources of different intensity will always be measured.

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

Stator winding insulation systems, including type II machines as defined in IEC 60034-18-42 are expected to experience PD activity in service. The insulation systems are inherently resistant to partial discharges due to their inorganic mica components. However, significant PD in these machines is usually a symptom of insulation deficiencies, such as a manufacturing problem or in-service deterioration, rather than a direct cause of failure. Nevertheless, depending on PD source and magnitude of the specific conditions at this point, it may turn into a significant ageing factor of a local insulation ageing process. The time to failure may not correlate with PD levels, but depends significantly on many factors for example but not limited to operating temperature, wedging conditions, degree of contamination, etc.

The measurement and the analysis of the specific PD behaviour can be 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 failure.

4.2 Types of PD in rotating machines

4.2.1 General

Partial discharges shall be generally expected in insulation systems of HV rotating machines, but their magnitudes, amount and positions depend on the design, materials, manufacturing processes, quality as well as on environmental and ageing conditions. For a given 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. Additional diagnostic tests and visual inspections, if applicable, may verify the PD source.

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. As PD are normal for high voltage rotating electrical machines the mica in the insulation is intended to provide an acceptable life under the specified ageing conditions. See also IEC 60034-18-32 for detailed information.

4.2.2.2 Internal delamination

Internal delamination within the main insulation can be caused by improper resin impregnation or curing of the insulation system during manufacturing or by mechanical or thermal over-stressing during operation. Delamination can also develop due to ageing of insulation. Delamination due to ageing is normally a long-term process. Therefore, delamination in old insulation is a clear sign of insulation ageing. Large voids may develop over a large area resulting in discharges of relatively high energy, which may significantly deteriorate the insulation. In particular, delamination will reduce the thermal conductivity of the insulation, which might lead to accelerated ageing. Thus, delamination needs careful consideration when PD activity is being assessed.

4.2.2.3 Debonding between insulated conductor and groundwall insulation

Debonding PD between conductors and insulation material are generated within air or gas filled elongated pockets (in longitudinal direction) that are embedded between the main insulation and the conductor stack.

They may result from overheating or from extreme mechanical forces that both lead to separation of large areas between these layers.

4.2.3 Slot discharges

Slot discharges in high voltage rotating machines could develop when the conductive slot portion coating is compromised. This could happen due to high local electrical field enhancement at coating material impurities or because of bar/coil movement in the normal slot part or at the stepped slot exit area, for example by a loss of wedging pressure due to settlement, erosion or abrasion of the materials, chemical attack or manufacturing deficiencies. When coils/bars are loose, the electromagnetic forces will cause the loose bar/coil to vibrate in the slot, leading to abrasion of the slot conductive coating and insulation. Where a local damage of the conductive slot coating is already present, there is a starting point for partial discharges with high pulse magnitude acting between grounded metal electrode (slot iron) and main insulation surface. These discharges will be primarily generated

at electrically high stressed bars or coils at phase terminal side of stator winding. The PD activity results in increased ageing through erosion of the main insulation. Coil loosening can also lead to mechanical abrasion in a severe case.

As insulation erosion is caused by high voltage induced slot discharges, it will occur more severely at bars/coils near HV terminals. Therefore, off-line PD measurements will provide different PD intensity and, sometimes, patterns at terminal and neutral side, in the presence of slot discharges.

Bar or coil vibration within the slots during operation, caused e.g. by forces due to the electromagnetic field and in the condition that the bars and coils are not tight anymore, may be the initial state of slot portion coating damage. Under certain conditions vibration sparking may occur during machine operation. This is caused by intermitted interruption of driven currents which are caused by electromagnetically induced voltages. Although it is not a PD phenomenon it may occur similarly during measurements.

When the conductive slot coating is deteriorated by the vibration sparking, in standstill these can be measured as slot discharges. Since vibration sparking is driven by the magnetic field this phenomenon can occur mainly in the slot section of each bar or coil, from terminal side to neutral side, the effect may be measured on both sides of the winding. Comparative measurements including pattern analysis on terminal and neutral side may give an indication for vibration sparking. F.1.4 provides more background information.

4.2.4 End-winding gap and 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 ensured and surface discharges will develop, which may gradually erode the insulation and surface materials. This is normally a slow ageing mechanism. 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 Foreign conductive materials discharges

Conductive contamination of the winding may result in a strong local concentration of partial discharges. These may result in a localized damage in the insulation. More dangerous may be larger metal pieces such as broken bolts or screws, as well as unintentionally forgotten tools. Beside the local concentration of PD and its potentially damaging effect it may lead to secondary impact such as immediate mechanical damage or abrasion driven by the impact of the magnetic field to such metal pieces.

These may result in a localized damage 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 important for interpreting PD measurements taken on rotating machines:

- 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 cannot be measured directly;
- the individual high frequency transmission behaviour of a stator winding, depending on a characteristic of the machine being tested and the location of the PD sources, changes the PD pulse characteristics at the terminals;
- 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 by the PD measurement instrument.

5 Measuring technologies and instrumentation

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. Other off-line methods for PD detection and methods for localization are listed in Annex C.

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 measuring 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 the lower and upper limit 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 (as defined in IEC 60270) PD measuring systems. The lower limit frequency should be in the range of several tens of kHz in accordance with IEC 60270.

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 4b). The low voltage coupling device is connected to the transmission system.

The high voltage capacitor, the coupling device, the transmission system, the input impedance of the measuring system and the measuring impedance 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.

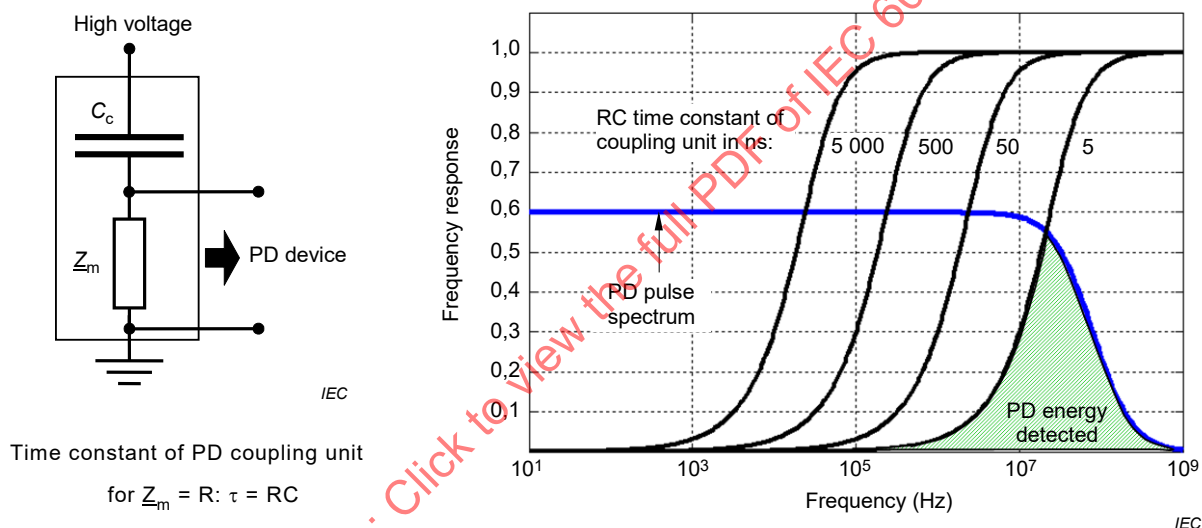


Figure 1 – Frequency response of a PD pulse and coupling units of various time constants

PD pulses are attenuated and dispersed while propagating through the winding, especially at higher frequencies. Therefore, measuring systems with lower limit frequency in the lower frequency range usually provide an average to 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. The coupling device may be connected in series with the coupling capacitor, or, if the component can be isolated from ground, placed in the grounding connection lead of the test object. 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 Effect of the measuring instrument

The first PD instruments were all made with analog circuits. The output of an analogue instrument is a scalar value that is the response of the PD impulse train to the filters and the detection circuit. Since the PD is a stochastic phenomenon, this scalar value fluctuates over time. The PD magnitudes as defined in IEC 60270 and in definitions 3.14 and 3.15 of this document are two methods of processing this value.

With digital processing, more sophisticated processing can be applied to extract more information from the signal. Digital circuits may appear at many stages, and with many variations amongst commercial systems. The main benefit of digital processing is the separation of PD impulses for the interpretation. In most systems, the separation is in time and amplitude. In practice, many modern PD acquisition systems introduce two settings that have an influence on the PD magnitude: a trigger level and a finite integration time. The trigger has the same function as the one found on an oscilloscope: that is to prevent processing low level signal.

The influence of the filter bandwidth of the measurement instrument is described in Annex H and IEC 60270.

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 erosion in 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.

6.2 Minimum scope of PD data presentation

To evaluate the PD behaviour, assuming the PD is higher than the noise and disturbance, it is required that at least the classic parameters of partial discharge measurement, are used as follows:

- the PD magnitude;
- the r.m.s. or the peak/ $\sqrt{2}$ value of test voltage;
- the frequency 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 related to the test voltage U applied to the winding or winding component is shown as function $Q = f(U)$ 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. When a PD pattern is available it can be used to exclude noise and signals coming from outside the winding from the actual measurement signal. In addition, the PD pattern can be used for PD source localization.

In addition, the inception voltage U_i (PDIV) and the extinction voltage U_e (PDEV) of the partial discharges from the test object, in accordance with IEC 60270, can be determined from the curve $Q = f(U)$ in Figure 2. The inception and extinction voltages are related to a specified low threshold value of PD magnitude. This procedure is typically applicable for single bar testing in workshops and for development purposes. Further advice for defining a threshold value is given in 7.1.

Figure 2 shows an example of the $Q = f(U)$ diagram. It is preferable to assign the voltage to the abscissa and the PD magnitude to the ordinate. The voltage axis is then linear scaled. Normalizing the voltage values to predetermined reference values, for example the maximum test voltage $U_{\max}$, facilitates comparisons. The PD magnitude axis can be scaled either linearly or logarithmically.

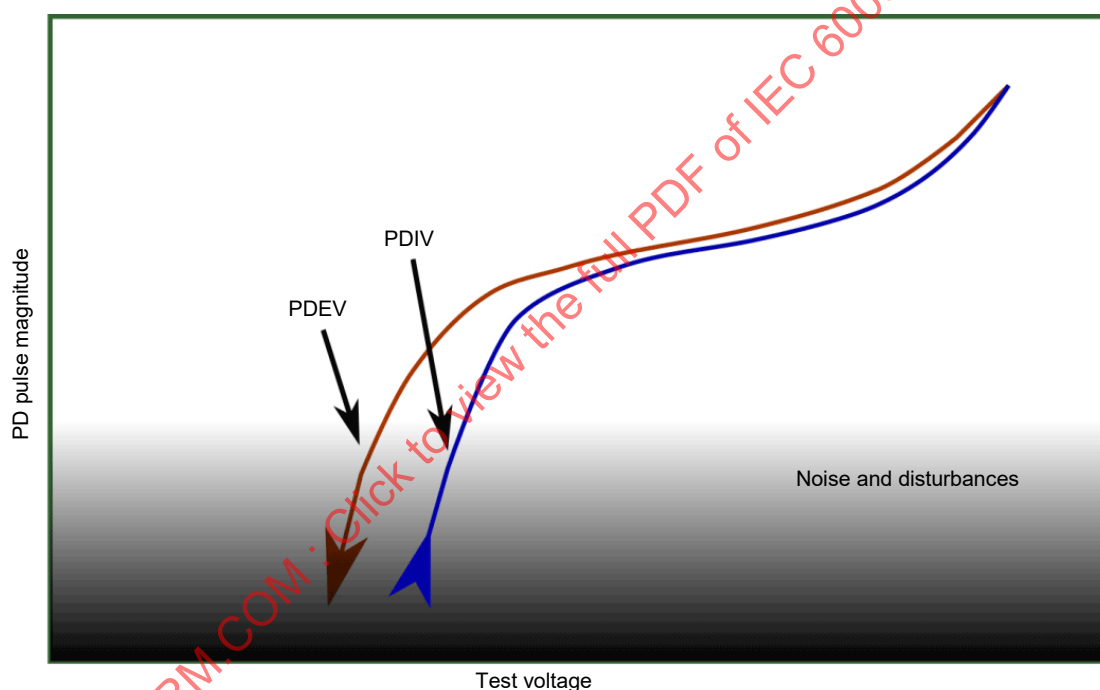


Figure 2 – PD magnitude as a function of the normalized test voltage $Q=f(U/U_{\max})$

6.3 Additional means of PD data representation

6.3.1 General

When using digital PD measuring devices, the PD magnitude q_i is acquired for the train of PD pulses for each individual PD event that occurs during the measuring time and the associated instantaneous voltage u_i at time t_i or, for periodic AC voltages, the phase angle ϕ_i within the corresponding period of the power-frequency test voltage. In each case, the measured values of PD are recorded with a suitable type of measuring device and stored so that they can be analysed later by appropriate methods.

Additional quantities can be derived from the PD data like integrated charge, discharge current, quadratic rate, PD power, and PD energy in accordance with IEC 60270. However, with digital systems, the derived PD quantities will depend on the specific instrument settings during testing, for example trigger level, etc. By using suitable diagrams during the subsequent analysis, it is possible to visualize the PD measurements so that the condition of the insulation system can be assessed. Either statistical distribution of PD parameters, phase-resolved or time-resolved presentation of individual measured PD parameters, or so-called scatter diagrams of specific parameters can be employed for this purpose (for example pulse magnitude distribution, pulse phase distribution, phase resolved pulse magnitude distribution, oscillograms of pulse trains, PD distribution maps, etc.).

More detailed information on suitable PD pattern types and PD diagrams for further analysis can be found in reference [3].

6.3.2 Partial discharge pattern

A partial discharge pattern can be viewed as a PD distribution map, in which specific PD quantities are correlated in a scatter plot to obtain information on the sources of PD activity. Usually, a 2-dimensional PD distribution map is employed for visualization.

A PD pattern, which is recommended for identifying the causes of PD in stator winding insulation systems, is the ϕ - q - n pattern in which the PD magnitude q_i is on the ordinate and the phase of occurrence ϕ_i is on the abscissa for each individual PD pulse. In the scatter plot, the frequency of PD occurrence (n) within each phase/magnitude window should be visualized by employing a suitable colour code whose scale may be visualized by the side of the plot.

The ϕ - q - n pattern is more commonly called PRPD pattern (Phase resolved Partial Discharge pattern) in literature and will be used further on within this document. Figure 3 shows an example of a PRPD pattern.

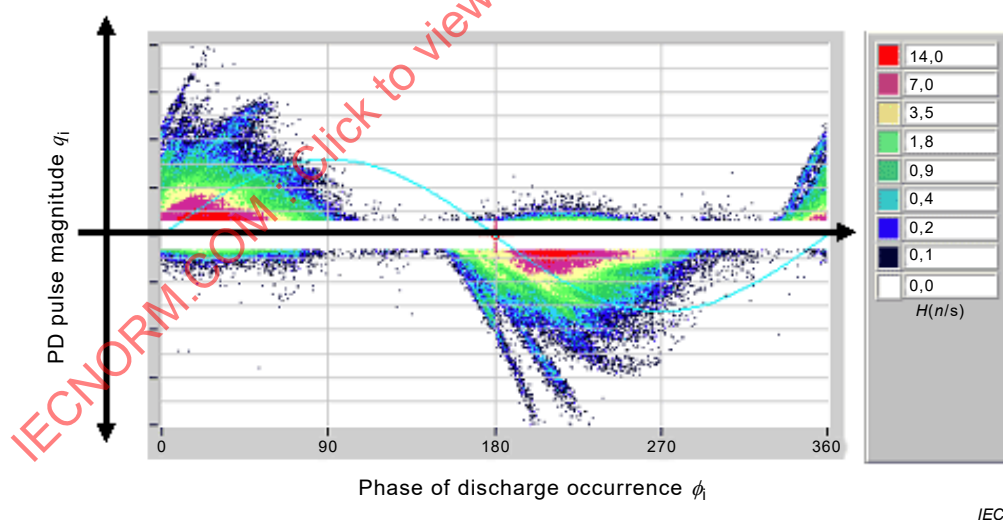


Figure 3 – Example of a PRPD pattern

7 Test circuits

7.1 General

The essential task of a test circuit for partial discharge measurements is to provide appropriate conditions for the detection of partial discharges within the test object.

The test circuit comprises primarily:

- a high-voltage power supply conforming to IEC 60060-1 and IEC 60060-2;
- a voltage measuring device;
- a suitable PD coupling unit;
- a connection cable from the measuring impedance to the PD device with sufficiently low damping characteristics and good shielding;
- a partial-discharge measuring instrument;
- high-voltage connections.

To ensure that the test circuit does not influence the measurement of partial discharges from the test object, the arrangement should first be tested up to the maximum test voltage in accordance with the test procedure given in 9.1.6.

For laboratory testing or factory testing of single winding components the noise level produced by the complete test circuit at maximum required test voltage should be below the level of a calibration pulse of 100 pC. To allow for measurement instrument variation, the acceptance limit can be a factor of 2 above the calibration pulse level. Background noise is another matter than measurement system disturbance, see 9.1.6.1.

When testing complete windings, the noise level produced by the complete test circuit at operating voltage should not exceed 50 % of the maximum PD magnitude expressed in Q.

NOTE HV transformers with built-in compensation may not operate without the capacitive load of the winding.

In case the test arrangement is not sufficiently free of interference to allow the measurement of the specified low threshold value of PD magnitude, an impedance or filter can be introduced at the high voltage between the test object and the high voltage source. This serves to attenuate disturbances from the high voltage source, for example PD from the testing transformer, the high voltage conductors or from bushings, or higher harmonics of the test voltage within or close to the bandwidth of the measuring system. Further information on external noise, disturbances and measuring sensitivity can be found in Annex D and Annex E.

The whole test circuit should be of a low-inductance arrangement. It is essential that ground loops are avoided. Low inductance leads are required as ground connections.

7.2 Individual winding components

For partial discharge measurements on individual winding components (stator bars, coils, etc.) it is preferable to use two basic test circuits conforming to IEC 60270. These circuits are shown in Figure 4.

The low voltage coupling device in the circuit of Figure 4a is placed on the ground side of the coupling capacitor. This arrangement has the advantage of being suitable for test objects with one grounded terminal, the test object being connected directly between the high-voltage source and ground. In the event of insulation failure during testing, the measuring equipment is not subjected to dangerous high voltages.

In the circuit of Figure 4b, the low voltage coupling device is placed on the ground side of the test object. The low-voltage side of the test object should therefore be isolated from ground. This test circuit might produce better sensitivity for low capacitance components compared with Figure 4a. The polarity of measured PD signals will be reversed for Figures 4a and 4b.

In both test arrangements, a protection circuit designed to withstand the breakdown current of test objects, which might fail during testing, has to be combined with the coupling device.

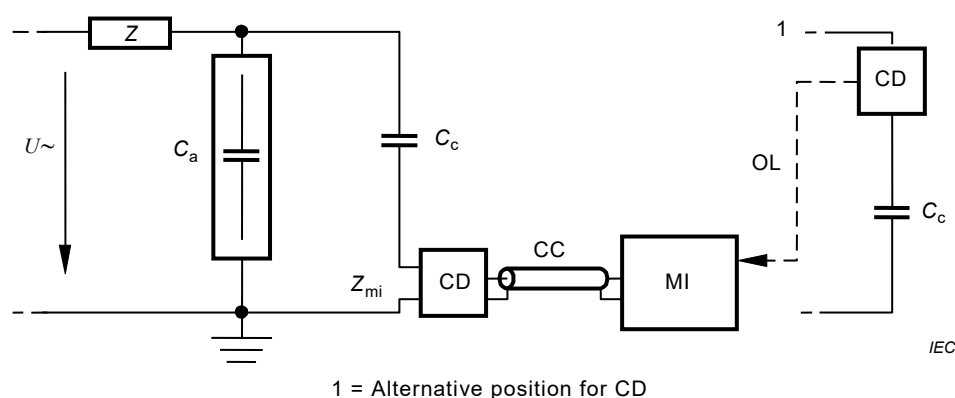


Figure 4a – Coupling device (CD) in series with the coupling capacitor

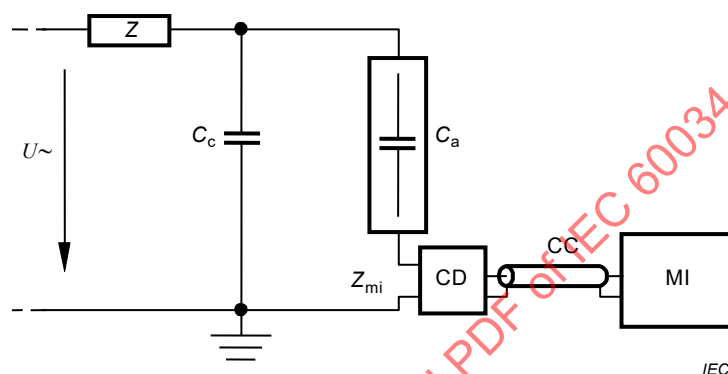


Figure 4b – Coupling device (CD) in series with the test object

Components

$U_{\sim}$	high-voltage supply
Z_{mi}	input impedance of measuring system
CC	connecting cable
OL	optical link
C_a	test object
C_c	coupling capacitor
CD	coupling device
MI	measuring instrument
Z	filter

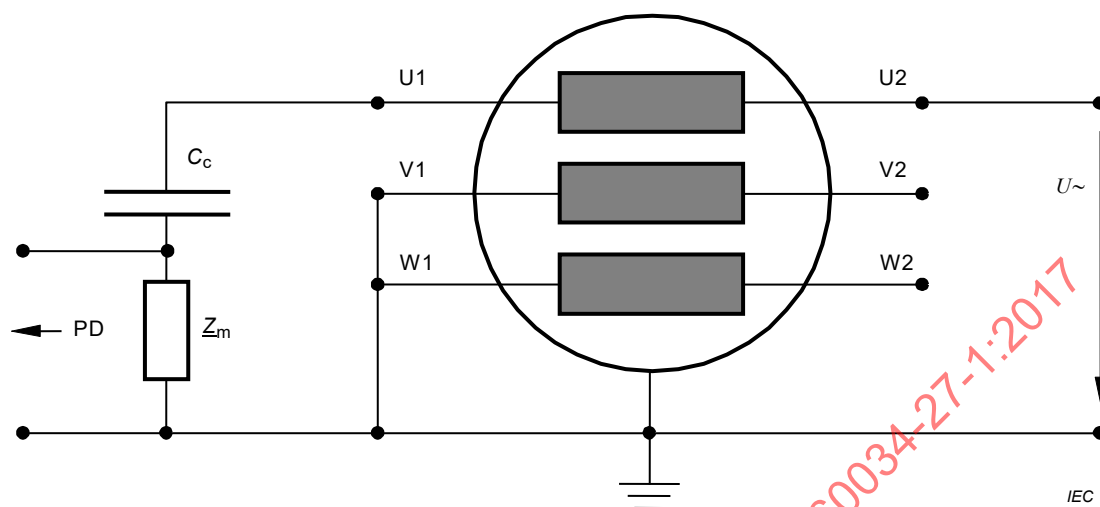
Figure 4 – Basic test circuits in accordance with IEC 60270

7.3 Complete windings**7.3.1 General**

The information that can actually be obtained from partial discharge measurements taken on high-voltage windings depends on the accessibility of the star point and on the method of connection chosen for the measuring device.

The high voltage source and the PD coupling unit should be connected to opposite winding terminals whenever possible, to utilize the advantage of the damping effect of the winding phase impedance for high frequency PD signals to suppress conducted interference from the power supply. The PD coupling unit should be installed as close to the winding terminals as possible. For measurements described in 7.3.2, 7.3.3 and 7.3.4 the stator core shall be grounded.

In Figure 5, a test circuit is shown for a PD measurement on phase U with terminals U1, V1, W1 being the high voltage phase terminals and U2, V2, W2 being the star point side of the winding.



Components

- $U_{\sim}$ high-voltage supply
- Z_m measuring impedance
- C_c coupling capacitor

Figure 5 – Test circuit for PD measurement (S1.1) on complete windings

NOTE 1 All connection configurations given in 7.3.2 to 7.3.4 are based on machines with Y-connections. Some connection principles can be transferred to machines with Δ -connection as well.

NOTE 2 A complete illustrated list of connection configurations, given for Y- and Δ -connection, is given in Annex G (see Figure G.1).

7.3.2 Standard measurements (SX.X)

For measurements on windings with open star point, the winding connections given in Table 1 are recommended. Table 2 shows the measurements recommended for closed accessible and inaccessible star points. To check the production quality after manufacturing and to have a baseline measurement, which facilitates future comparison and trending of partial discharge results, it is recommended to perform the measurements listed in Tables 1 and 2 on new and used windings.

Table 1 – Connection configuration S1 for open star point

ID number	HV	Ground	C_c
S1.1	U2	V1W1	U1
S1.2	V2	U1W1	V1
S1.3	W2	U1V1	W1
S1.4	U2V2W2	-	U1V1W1

Table 2 – Connection configuration S2 for closed star point

ID number	HV	Ground	C _c
Accessible star point			
S2.1	U2V2W2	-	U1V1W1
Inaccessible star point			
S2.2	U1V1W1	-	U1V1W1

A comparison of measurement results from S1.1 to S1.3 with measurement S1.4 for open starpoint (Table 1) allows for the detection and distinction of specific partial discharge sources between two phases of the winding, for example in the endwinding PD caused by contamination or manufacturing deficiencies; and PD in the slot section, see 9.2.

Depending on the characteristics of the available power supply and the capacitance of the winding, it may not be convenient or even feasible to energize the whole winding. Then the measurement S1.4 on the complete winding to ground for open star point in Table 1 can be left out. In case of new windings, it may be decided, for example for smaller machines, to apply a simplified test procedure after manufacturing even for open star point by performing only measurement S1.4. This, however, provides less information for future comparisons and trending of the winding condition and gives no indication of possible discharges between two phases of the winding.

7.3.3 Optional, extended measurements (EX.X)

In addition to the standard measurements given in Tables 1 and 2, further extended measurements can be made optional, to investigate the PD behaviour of the winding insulation in more detail. These measurements are listed in Tables 3 and 4. Measurements shall be selected appropriately, if the results of standard measurements indicate specific discharge sources that need further investigation. If and what specific kind of extended measurement is needed shall be decided by the operator or manufacturer.

Table 3 – Connection configuration E1 for open star point

ID number	HV	Ground	C _c
E1.1	U1	V2W2	U2
E1.2	V1	U2W2	V2
E1.3	W1	U2V2	W2
E1.4	U1V1W1	-	U2V2W2

Table 4 – Connection configuration E2 for closed star point

ID number	HV	Ground	C_c
Accessible star point			
E2.1	U2V2W2	-	U1
E2.2	U2V2W2	-	V1
E2.3	U2V2W2	-	W1
E2.4	U1V1W1	-	U2V2W2
Inaccessible star point			
E2.5	V1	-	U1
E2.6	W1	-	V1
E2.7	U1	-	W1

By using the extended measurements listed in Tables 3 and 4 as a supplement to the standard measurements of Tables 1 and 2, more detailed information can be obtained about the specific location of dominating discharge sources within the stator winding system, since these tests utilize the attenuation of pulses when travelling along the winding.

In cases where conducted interference from the power supply can be excluded, both ends of the winding terminals, i.e. the phase and neutral side (U1U2, V1V2, W1W2) for measurements S1.1 to S1.4 and S2.1, can be connected, to obtain equal sensitivity for insulation defects and/or manufacturing deficiencies at both sides of the winding.

7.3.4 Using integrated test equipment (IX.X)

Although not the recommended way to measure PD on complete windings – as defined in 7.3.2 and 7.3.3 – it may be unavoidable to connect the HV and the PD coupling device to one identical terminal. Reasons for that could for example be testing of small machines with small terminal boxes, or when the PD measurement instrument is an integral part of the power supply, the terminal box may not allow connecting the power supply HV and the coupling capacitor C_c to different terminals. All statements given in 7.3.2, except the connection diagram, are applicable for these measurements. In analogy to Tables 1 and 2 for recommended connections, Tables 5 to 7 show the configurations for such integrated devices.

Table 5 – Connection configuration I1 for integrated equipment and open star point, measurement on high voltage side

ID number	HV	Ground	C_c
I1.1	U1	V1W1	U1
I1.2	V1	U1W1	V1
I1.3	W1	U1V1	W1
I1.4	U1V1W1	-	U1V1W1

Table 6 – Connection configuration I2 for integrated equipment and open star point, measurement on star point side

ID number	HV	Ground	C _c
I2.1	U2	V2W2	U2
I2.2	V2	U2W2	V2
I2.3	W2	U2V2	W2
I2.4	U2V2W2	-	U2V2W2

Table 7 – Connection configuration I3 for integrated equipment and closed star point

ID number	HV	Ground	C _c
I3.1	U1	-	U1
I3.2	V1	-	V1
I3.3	W1	-	W1
I3.4	U1V1W1	-	U1V1W1

It is important to note that this way of connecting the power supply and the measurement equipment to one identical point may include interference from the voltage source and may also cause unwanted interference, such as damping effects on the cables and reflections, or higher sensitivity to noise caused by the antenna effects of the HV cables.

8 Normalization of measurements

8.1 General

Due to the pulse propagation, resonance and mutual cross-coupling in machine windings, mentioned in 4.3, calibration is not possible. The aim of normalization is to ratio out various influences of the test circuit, for example power supply connections, stray capacitance, coupling capacitance and test object capacitance, by injecting a well-defined reference pulse at the machine terminals with the complete test circuit connected. Normalization is to ensure that the PD measuring system provides sufficient sensitivity to measure a specified value of PD magnitude correctly, as it appears at the machine terminals during the measurement, and to show that the PD detection system used, is responding in a repeatable fashion. In addition, normalization of the test circuit facilitates comparisons between measurements on objects having the same design, when considering the limitations stated in the Introduction. Normalization of the test circuit shall be performed by injecting short-duration current pulses of known magnitude by means of a reference pulse generator (calibrator) conforming to the specifications given in IEC 60270.

The following points are important to emphasize:

- normalization does not define the unknown, machine-dependent signal transfer function between the actual PD source in the winding insulation and the location of the installed sensors, which is in general a function of the location of the PD source and the individual winding design;
- normalization, with the reference pulse generator not connected with shortest as possible leads, or with the reference pulse generator connected not closest as possible to the machine terminal may lead to improper results, as a result of signal damping and signal distortion, for example caused by ringing and reflection, and due to too high inductance;
- normalization at the machine terminals does not adequately represent the PD pulses that actually occur at an unknown location within the stator winding. Consequently, the process of normalizing a measurement on complete windings does not provide a measure for quality of the insulation system in terms of absolute quantities. As a general rule, it can be assumed in the majority of cases that the PD level measured at the terminals is lower than at the point of origin;

- normalization cannot provide a benchmark for direct comparison of different machines.

Since pulse propagation phenomena need not be considered when testing fully processed coils, bars and other individual winding components which can be treated as lumped capacitance, normalization in terms of PD magnitude in accordance with IEC 60270 can also serve as a basis for absolute comparison of different objects and can thus give a measure of quality, for example for quality assurance testing during manufacturing given that the limitations stated in the Introduction are considered.

8.2 Individual winding components

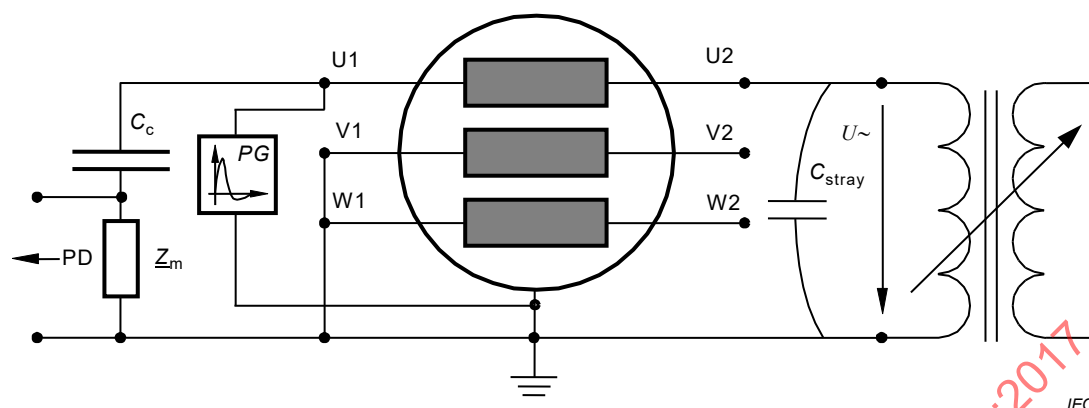
For testing individual winding components, the test circuit described in 7.2 shall be normalized in accordance with the normalization procedure given in IEC 60270, by injecting current pulses of a specified pulse magnitude, with the complete test circuit designed for the subsequent measurement. This is performed by means of a reference pulse generator connected between the terminals of the test object and the high voltage supply connected to the test arrangement but not energized.

The normalization shall not be performed at more than a factor of 5 from the specified PD magnitude, to ensure good accuracy. For individual winding components, the measurement of PD magnitude, in terms of apparent charge q (in pC) and in accordance with IEC 60270, is recommended.

8.3 Complete windings

For testing complete windings, the normalization of the test circuits described in 7.3 is performed by injecting current pulses of a specified magnitude at the machine terminals by means of a reference pulse generator. This is to simulate PD pulses as they appear at the machine terminals during the measurement. However, it should be noted that the use of pC or mV cannot be used for direct comparison of different machines.

Normalization is in principle needed for each type of test circuit arrangement described in 7.3, before starting the actual PD test. In case a sequence of PD tests is performed, for example S1.1, S1.2, S1.3, in which the symmetry of the three-phase winding can be utilized, normalization is necessary only for the first of those measurements.



Components

<i>PG</i>	Pulse generator according to IEC 60270
$U_{\sim}$	high-voltage supply
Z_m	measuring impedance
C_c	coupling capacitor
C_{stray}	stray capacitance

Figure 6 – Normalization of the test circuit for measurement S1.1

Depending on the size of the individual machine under test, a separate normalization of each phase may be advisable, as symmetry of the three phases may not necessarily apply to very large machines because of the influence of circuit ring connection design.

The procedure of normalization for complete windings in accordance with Figure 6 shall be performed as follows:

- the test circuit is selected in accordance with 7.3, depending on the type of measurement to be performed (see Tables 1 to 7);
- all connecting leads to the phase terminals, the PD coupler and the test voltage supply shall be as short as possible and all components of the test circuit shall be in the final arrangement for measurement with the test voltage supply connected but not energized;
- the reference pulse generator is connected between the phase to be tested, and ground, with leads as short as possible to avoid distortion of the signal because of lead inductance. The reference pulse generator shall always be connected directly to the phase terminal;
- the pulse generator should be adjusted to an adequate pulse magnitude in the relevant range of magnitudes expected from the test object;
- the reference pulses of constant magnitude are measured by the PD device to determine a scale factor for subsequent measurement.

Since the entire arrangement of the test object, connecting cables and measurement device with filter and amplifier needs to be considered from a system perspective, the normalization of an individual test circuit for complete stator windings will still only hold for a given machine and a given detection system. It is important to emphasize that a normalization is always needed if the new testing arrangement differs from that of the previous measurement so that no winding symmetry can be utilized.

In principle, more sophisticated normalization procedures could be performed, which provide information on pulse damping and cross-coupling effects of travelling pulses within the winding. However, these procedures are beyond the scope of this document.

9 Test procedures

9.1 Acquiring PD measurements on windings and winding components

9.1.1 General

Off-line PD measurements may be obtained on individual winding components, individual phases or all 3 phases in parallel. In the case of complete or partial windings, the test object shall be disconnected from all external power supplies, bus work, surge arrestors, surge capacitors, and excitation systems. Where possible, the point of test lead contact shall always be as close as possible to the machine terminals. Making contact to circuit breakers should be avoided. In all subsequent tests, the entire test circuit, including all components in accordance with Clause 7, shall be arranged in the same way as for the initial measurement to ensure that measurements can be compared. Furthermore, it is important that the measurement system used in accordance with Clause 5 and the normalization procedure applied in accordance with Clause 8 are always the same to obtain comparable measurement results, for example for trending. In addition, the actual test conditions shall be well-documented in the test report in accordance with Clause 11.

9.1.2 Test equipment and safety requirements

The test setup, including for example the voltage source and cabling used to energize the winding, shall be PD free, in accordance with Clause 7, over the range of applicable test voltages. The waveform of the applied voltage shall have $U_{pp}/U_{rms} = 2\sqrt{2}, \pm 5\%$ (U_{pp} is U peak to peak, U_{rms} is U root mean square). The voltage supply should also have sufficient apparent power (kVA) rating to test according to the test procedures defined in 7.3.

Applicable safety requirements of the high-voltage PD test include, but are not limited to, the following:

- the circuit shall be equipped with reliable over-current relay or contactor to disconnect the power supply in the event of failure or flashover;
- all high-voltage connections to the test object should be as short as can be reasonably achieved, and shall have secure attachments to avoid inadvertent disconnection during the test. A grounding stick shall be available;
- the area immediately surrounding the test object should be clearly marked off using highly visible barriers;
- at least two persons should be in attendance during the process of making connections and applying voltage.

NOTE Health and safety rules and regulations may be applicable during the test.

9.1.3 Preparation of test objects

Before starting the test, the test object shall be inspected for cleanliness. Furthermore, sufficient air clearance between adjacent phase connections and between internal cables within the winding are needed. Cables should not touch each other, or any surface at different potential.

To assess the winding insulation integrity for the test, it is recommended to check the insulation resistance before starting the PD test, which should generally be above the limits defined in IEC 60034-27-4. Measurement of the insulation resistance will reveal whether or not the winding is excessively dirty, damp or if the insulation is damaged.

Individual winding components (for example coils, bars, or winding sections such as formettes) should be carefully prepared before any high voltage is applied. They should be clean and dry with the final corona protection applied. Electrical field enhancements at the ends of the components should be avoided, with all strands being in good contact. The conductive slot coating shall be covered by conductive contact elements throughout its whole

length to form an equipotential surface. A thin, flexible copper wire, stranded wires, metallic foils or suitable slot models are recommended.

9.1.4 Conditioning

PD will typically decrease during the first minutes of voltage application and thus conditioning will ensure more stable PD behaviour of the winding or winding component to be measured. Therefore, the test object should be conditioned immediately before the test by energizing for several minutes before acquiring PD data. To avoid over-stressing the winding, the applied voltage should be carefully chosen based on the winding condition. For new and used machine windings, a minimum conditioning period of 5 min at the maximum test voltage (see 9.1.5 and 9.1.6) is recommended. This conditioning is required to minimize the fluctuation of the PD patterns. Conditioning may be useful also for individual winding components. Following the conditioning cycle, the voltage may then be re-applied to start the partial discharge measurements.

Conditioning of new individual bars and coils may also be done by applying high voltage ($> U_N$) for shorter time. By doing so, the PD measurement can be more easily integrated into the manufacturing testing procedure, such as performing the high voltage withstand test to the individual bars and coils before performing the PD test.

9.1.5 Test voltages

For the PD test, the test object is connected to the circuit in accordance with Clause 7 and the increase in applied voltage is made either in suitably chosen steps (for example $\Delta U = 0,2 U_{\max}$) or by a continuous ramping ($\leq 1 \text{ kV/s}$) up to the maximum test voltage $U_{\max}$.

In the case of a stepped voltage increase (see Figure 7a), a dwell time on each step of at least 10 s (when testing with line frequency) is required to record the relevant PD parameters including the PD pattern at each voltage step.

In the case of a continuously ramped test voltage (see Figure 7b) performed with line frequency, the power supply needs to be sufficiently PD free during voltage regulation.

The maximum applied test voltage $U_{\max}$ for new windings and winding components should be selected from the following voltage levels:

- $U_1 = U_N / \sqrt{3}$, or operating (line-to-ground) voltage of the insulation system;
- $U_2 = 1,2 U_N / \sqrt{3}$, or 120 % of operating (line-to-ground) voltage of the insulation system;
- $U_3 = U_N$, or rated line to line voltage of the insulation system.

Higher test voltages among the above voltages may provide additional information.

For used windings, the ramping rate and maximum test voltage should be agreed between tester and owner.

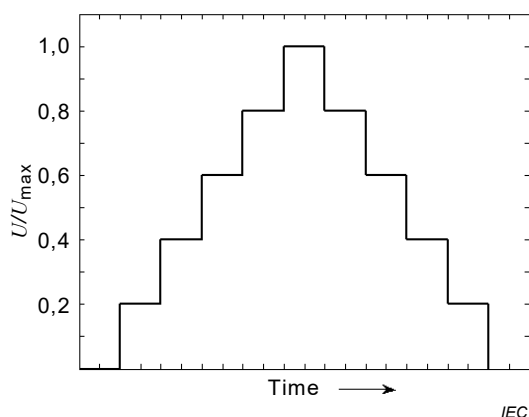


Figure 7a – Gradual stepped power-up
in steps of $U/U_{\max} = 0,2$

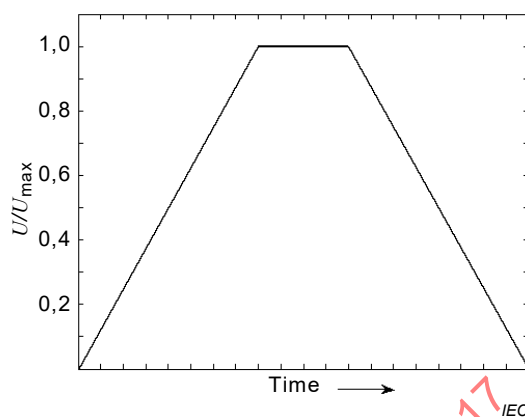


Figure 7b – Continuous power-up
with ramped test voltage

Figure 7 – Test voltage applied to the test object during PD measurement

9.1.6 PD test procedure

9.1.6.1 Background noise assessment

Consistent with IEC TS 60034-27-2, noise is defined to be signals that are not from the stator winding or winding components that are clearly not pulse-like; whereas disturbances are electrical pulses of relatively short duration that may have many of the characteristics of stator winding PD pulses – but in fact are not stator winding PD.

Before starting the PD test, the level of background noise associated with the measurement arrangement should be obtained to ensure that the test arrangement has sufficiently low noise and PD up to the maximum test voltage. This should be performed with the PD measuring arrangement fully prepared for the test, preferably by replacing the test object by an appropriate discharge-free capacitor. If such a capacitor is not available, the PD measuring arrangement may be prepared by running the entire test arrangement at no-load with power supply, PD coupling unit and a PD measurement instrument with only the test object being disconnected, up to the maximum test voltage. In the case of the no-load test, the test circuit needs to be normalized separately for the no-load condition to gain reliable PD values. If ramped voltages are to be applied during subsequent testing, the no-load test should be done with the same slope.

Variable voltage sources may generate significant noise during voltage regulation. When performing gradual step test, measurements during voltage regulation shall be avoided. When performing continuous ramped testing adequate equipment shall be used.

9.1.6.2 Reducing the influence of noise and disturbance

Noise resulting from sources inherent in the measuring equipment cannot practically be eliminated, for example thermal noise in accordance with Annex E (noise, disturbance and sensitivity). Disturbances, which are assumed to result from external components, can be reduced or even eliminated by appropriate measures. In a first step, it is necessary to localize such disturbance signals when they appear and to take appropriate measures to minimize them. In general, the following guidelines can be given to optimize the measurement arrangement:

- use a proven combination of PD coupling unit and measuring equipment;
- place the coupling unit as close to the test object as possible, to reduce damping between the test object and the coupler;

- connect the power supply and the PD coupling unit to opposite winding terminals in accordance with Clause 7 to ensure that disturbances from the power supply will be attenuated when propagating through the winding;
- when testing complete stator windings ensure that the leads of all embedded resistive temperature detectors (RTDs) are anchored to the grounded stator frame;
- normalization and measurement of the test arrangement is recommended before every usage. Depending on the location and time of measurement, the quality of the supply network may change and/or the transformer may get more and more dirty over longer times. Furthermore, the transformer insulation may age, etc.;
- in general, the grounding of the test object and the measuring device has to be good (large area grounding). If possible, the same connection point for the PD coupling unit, the test object and the measuring equipment shall be used;
- build the test arrangement as compact as possible. Short measuring cables, short ground leads and compact circuit dimensions reduce the inductance and also any electromagnetic coupling into the test circuit by antenna effects;
- some measuring cables need a matching resistor to avoid reflection. Only proven cables should be used for the same reason;
- some electronic device, for example computers, monitors and wireless devices, may cause interference to the measuring device. Often positioning these devices into another direction can reduce such influences on the measurement. The use of a Faraday cage, in the simplest case a skeleton cage could be sufficient, is an additional means of reducing the overall noise. By nature, this method is applicable for single winding components;
- furthermore, filters can be used. In this case, noise can be filtered at the low or the high voltage side of the transformer. High-side filters are mandatory for resonance systems.

9.1.6.3 PD testing

With the PD measuring circuit fully prepared for the test in accordance with Clause 7, the test voltage is applied to the test object as described in 9.1.5. At each voltage step, or during continuous ramping, the PD data listed in Clause 6 shall be recorded and processed to provide appropriate PD data presentations. To provide the $Q = f(U)$ curve as well as PD inception (PDIV) and extinction voltages (PDEV) in accordance with Clause 6, the measurement should be performed with increasing and subsequently decreasing test voltage as shown in Figure 7. The same rate of change during voltage increase and decrease should be applied.

When using digital instruments the calculation of Q (either Q_m or Q_{iec}) requires a minimum time for collecting data and processing these. The period of continuous data collection for processing the Q -values shall at least be 5 s at power frequency. Consequently, the time to hold the voltage stable shall be longer, e.g. 10 s.

If the test frequency is differing from power line frequency Annex A gives guidance for how long to measure.

If the partial discharge values during voltage application are recorded electronically and stored in files of measured values, the diagrams described in Clause 6 can be obtained and further evaluation as described in Clause 10 can be carried out to assess the measured PD results. This may include the distribution of pulse magnitudes, phase resolved distributions or specific PRPD patterns (see Clauses 6 and 10) at various levels during test voltage increase and decrease.

Any comments or observations during the test should be recorded to benefit future reference. Depending on the machine being tested and the aim of the test, an appropriate sequence of standard measurements and/or optional extended measurements as described in Clause 7 should be taken.

9.2 Identifying and locating the source of partial discharges

The electrical measurement of PD at the terminals of the specimen evaluates the intensity, frequency, and polarity of discharges, when using instruments that provide the PD parameters in accordance with 6.3. However, to translate these parameters into useful information about the winding condition, it is important to identify the location of the source of the partial discharges. One means of PD identification is to resort the PRPD pattern, if this is available.

Initially, the PD test is generally performed on individual phases while the other two phases are held at ground potential. This will provide a characteristic PD distribution or PRPD pattern for each phase. Following the per-phase test, and assuming that a power supply of sufficient apparent power (kVA) rating is available, the first and most basic method of determining discharge origin under off-line test conditions is to use the test voltage source to energize simultaneously all three phases of the winding. Under these conditions, the effect of phase-to-phase voltage gradient in the end-winding is suppressed. If all three phases are energized at once, discharges associated with phase-to-phase activity in the end-winding will be diminished in the PD signature. Phase-to-ground discharges may still be evident, the causes of which should be thoroughly investigated. A corresponding decrease in PD magnitude and pulse count suggests that the end-winding is contributing to the signal obtained during the per-phase measurement. This is a useful means of segregating end-winding PD from discharges in the slot.

To locate the source of a specific problem, it may be helpful for the diagnostic process to subdivide the winding, if possible. However, since machine manufacturers will run together pole jumpers, circuit rings, and cables from one phase so that these elements are in contact with one another, in this situation, with one circuit grounded while the other is energized, an abnormal condition exists and high PD discharge levels may be recorded.

NOTE In cases where it is necessary to test a subdivided winding, the purchaser and tester may consult the machine manufacturer for guidance before starting the operation.

A variety of supplementary test methods has been developed, making use of the different physical effects of partial discharges. To confirm the presence or absence of end-winding discharge, it is a useful practice during these tests to examine the winding from both ends using a viewing scope or camera capable of detecting corona discharge. It is an advantage of off-line tests that such inspections can be performed with covers and rotor removed, if required.

Other off-line methods for PD detection and methods for localization are listed in Annex C.

10 Interpretation of test results

10.1 General

In general, factory PD testing of windings and winding components is intended to ensure consistent manufacturing quality (such as proper application of stress control coating), whereas on-site PD testing of windings is to determine the degree of ageing due to the various ageing factors during operation. Thus, interpretation of results obtained from these tests is the final, most important step after the PD measurements have been taken. Depending on the test results, it has to be decided whether there are any indications of defects and, if so, what they imply regarding the performance of the insulation system, whether any supplementary tests are needed and the planning and/or implementation of any essential corrective maintenance.

It should be noted that individual machines are usually subjected to specific stress profiles during operation and that there is a great variety of design features, production conditions and various insulation systems from different manufacturers. This usually leads to significant variations in the amounts of partial discharges depending on the individual properties of the

machine being tested. As a result, a direct comparison of different types of machines, windings and winding components in terms of absolute values is not possible.

It is also not possible to establish any absolute limits for complete windings, for example as acceptance criteria for use during production or operation. Therefore, no specific limits that can be used for quality assessment will be given in this document. Similarly, the great variety of PD test instrument characteristics has made it difficult to set absolute PD limits for new coils and bars.

To improve the interpretation of PD test data obtained on complete stator windings, the results from previous inspection reports, for example from visual inspections, should be carefully examined and considered for condition assessment.

The stress control coating in the winding overhang is not only field dependant but also frequency dependant. The higher the frequency, the shorter is the effective grading lengths on the winding surface. This may cause additional PD at the overlapping section of the conductive slot coating and the stress control coating. With lower frequencies, for example with VLF, the field distribution on that stress control coating becomes more linear, so that the effective grading lengths also increases, carrying ground potential closer to the support structure and may generate additional PD there.

10.2 Interpretation of PD magnitude, inception and extinction voltage

10.2.1 Basic interpretation

The basic result to interpret from any off-line PD test on windings and winding components is the largest repeatedly occurring PD magnitude referred to as Q_m or Q_{iec} , measured at increasing and decreasing test voltage, in accordance with 6.2. In addition, the PD inception voltage (PDIV) and the PD extinction voltage (PDEV) may be recorded.

Even if the PD site which produces the highest PD magnitude is not necessarily the most at risk location in the winding, detection and interpretation of PD magnitude as a function of test voltage provides a simple but inconclusive means of characterizing typical dominating PD sources. A more powerful interpretation method is to interpret the phase resolved PD pattern recognition as described in 10.3. Annex F provides examples and more details in pattern recognition and PD based condition assessment.

Interpretation is always comparative for complete stator windings, bars or coils. That is, it is not generally possible to specify an acceptable level of Q , or a level of Q where there is a high risk of insulation failure. This is related to the reasons described in the introduction of this document, as well as to the fact that PD is often only a symptom of the failure process, not a direct cause. A simple but inconclusive interpretation for complete windings can be made by the methods described below. For a more complete interpretation PD pattern recognition to identify the PD source is recommended.

- trending Q on the same stator over time, using the same test method and equipment with the same technical characteristics;
- comparing Q from several stators with the same design, using the same test method and equipment with the same technical characteristics;
- comparing Q between different phases of one stator, using the same test method and equipment with the same technical characteristics.

PD results on individual coils or bars can be measured in pC, and the PD magnitudes are comparable when using the same test apparatus, test circuit arrangements and instrument settings under the well-controlled ambient conditions. A good quantitative comparison between PD measurements can be obtained if the same type of reference pulse generator, same connecting cable (type and length) and same location of reference pulse injection is chosen. This allows comparison of the PD magnitudes between different coils or bars when also considering the limitations stated in the Introduction.

HV machine windings and winding components, which normally have mica based insulation systems that can withstand PD are by nature not free of voids that allow PD to occur, it could be desirable to have a higher PDIV and PDEV which may suggest that there are fewer voids of large size in the stator winding insulation. However, no judgments should be made solely based on PDIV and PDEV until additional diagnostic techniques are used to assess the insulation system. This is in contrast to PD-free systems where the PDIV and PDEV are proven values for assessing the suitability of an asset.

On individual winding components, the discharge inception voltage (PDIV) and discharge extinction voltage (PDEV) are measured with a maximum specified noise background in pC.

10.2.2 Trend in PD in a machine over time

This is a powerful means of interpreting PD data on complete stator windings, no matter which detection method is used. One should first obtain an initial fingerprint of the off-line PD activity. The initial fingerprint is best when the winding is new. If the winding deteriorates due to operation in service, then Q will usually increase over time. For example, remarkable increase of Q over time may be an indication that significant deterioration has occurred. Additional off-line tests, PD location using methods described in Annex C and a visual inspection of the winding may then be warranted within a reasonable time.

For trending and comparison purposes these fingerprint measurements are best made on site, thus in the correct environment, with the measurement equipment and the method to be used in future. To ensure a good comparability between periodically performed PD measurements, conditions like temperature and humidity should be at least similar.

Some caution with regard to PD trending over time has to be considered:

- a new stator may have relatively high PD that typically decreases after the first period of operation, for example due to post-curing;
- for the trend to be meaningful, the trend plots should only show data collected at the same voltage, temperature and similar humidity conditions, using the same PD detector. As far as possible, between tests, the test voltage should be within $\pm 2,5\%$, the temperature of test object should be within $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- for hydrogen cooled machines, it provides additional diagnostic value to perform the measurement under atmospheric air conditions. In any case trending of tests shall be performed under the same atmospheric conditions. For the interpretation of the PD results taken under atmospheric conditions the end winding spacing design should be taken into account;
- variations of Q of a certain percentage, for example $\pm 25\%$, are normal, due to unavoidable changes in test conditions and more or less statistical behaviour of PD processes.

If the trend over time is high, or the individual readings changes significantly in comparison, then the PD data can be further analysed to determine the probable cause for the high PD activity. In this case, the analysis of phase resolved PD patterns (Figure 3) in accordance with 10.3 is useful for identifying the PD sources.

10.2.3 Comparisons between winding components or between windings

Another effective way to determine if one winding or winding component is different from another is to compare the PD quantities between winding components or between windings. Different comparisons are possible.

a) Factory tests on winding components

Comparisons based on Q can be made when the measurements are performed on the same design bar or coil, using the same equipment, same instrument setup, the same test method as well as same conditions, as outlined in the Introduction of this document. If

external discharges can be excluded, the results of such tests can be used to determine if there has been a deviation in processing or insulating materials used in the component.

b) Factory tests on windings

When comparing PD results between similar machines, the most reliable comparison occurs when all the stators are identical including having the same insulation system, and the tests are done at the same voltage, with similar temperature and humidity conditions in accordance with 10.2.2. The tests shall also be performed with the same PD test equipment operating at the same frequency range using the same test arrangement.

When such comparable data are accumulated and enough data are established for statistical evaluation, the quality assessment between the machine windings maybe done in the view of PD magnitude.

c) On-site test on windings

Comparisons can be made between windings of the same design, manufacture and ratings, to estimate which winding may have been subjected to the most in-service ageing. Windings with higher Q at the same test voltage may, depending on where the PD sources are located in the winding, be an indicator of stronger deterioration. The windings shall be tested with the same test equipment using the same frequency range and considering the limitations stated in the Introduction.

10.3 PD pattern recognition

10.3.1 General

PRPD patterns in accordance with Figure 3 (see 6.3.2) is a common way to interpret off-line PD measurements. Since the degree of deterioration, and hence the risk of insulation failure, depends considerably on the specific type of partial discharges, it is crucial to have sound information on the source of any PD activity, i.e. on the type and possible location within the stator winding or winding component.

When using the PRPD patterns, it may be possible to separate various PD sources from each other, to assess the related risk and to trend them separately. When knowing the source of PD and the physical process behind it is also possible to weight their risk separately. This should be done, because there is little correlation between the PD magnitudes and the ageing process these PD patterns indicate.

For example, it may happen that two sub-patterns, appearing in one PD reading, may reach similar PD magnitudes: one caused, for example by delaminations within the main insulation of the slot section, the other caused, for example by surface effects somewhere in the end-winding. Although both phenomena generate PD that may reach similar magnitudes, for example, the delamination PD in the slot section, caused by overheating, indicates a more critical insulation condition than the surface PD in the end-winding area, caused by contamination or elevated humidity.

10.3.2 Basic interpretation

A basic procedure that can be applied for the identification and localization of typical PD sources in windings, by using phase resolved PD patterns, is shown in Figure 8. Each sub-pattern that can be separated from the complete PD reading can be classified in this way.

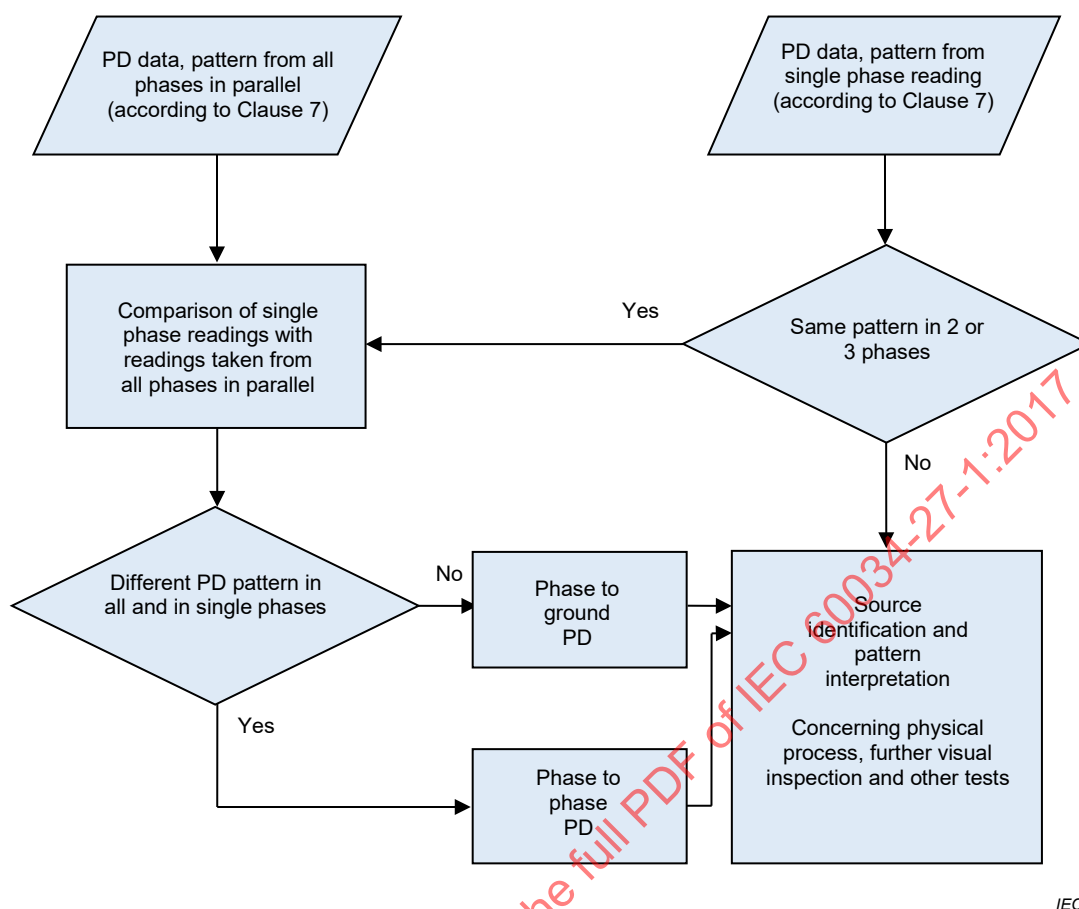


Figure 8 – Example for identification and localization of PD sources

The aim of PD pattern interpretation is to separate PD resulting from various PD sources within the test object. With this information, it is possible to (see Annex F):

- observe the trend behaviour of each PD source;
- localize the various PD phenomena;
- provide rough information concerning location for pinpointing;
- assess the insulation condition, depending on PD source and PD location.

When analysing phase resolved PD patterns, again the most meaningful interpretation can be obtained by:

- trending the PD pattern on the same stator over time, using the same test method and equipment with the same technical characteristics;
- comparing PD patterns from several stators with the same design, using the same test method and equipment with the same technical characteristics;
- comparing PD patterns between different phases of one stator, using the same test method and equipment with the same technical characteristics.

To facilitate comparison between test results a suitable database of PD measurements should be utilized. This database should ideally include a complete history of the PD behaviour and the operational and maintenance data of each machine under test.

Furthermore, it is advisable for the database being used to incorporate PD test results that can be visualized in accordance with Clause 6 so that typical PD patterns can be compared directly with those obtained from new measurements. When using such a database, the PD

test results, quantified in accordance with Clause 6, may be assigned to specific sources of PD.

The specific relationship between the source of the PD, its typical behaviour and also its implications for the risk of insulation failure, is usually based on past experience verified in practice. In addition, the database can also be utilized for the direct comparison of PD results with those of machines of similar design and insulation system, which provides further useful information.

11 Test report

The test report should contain all data necessary for future trend analysis, as well as a clear recommendation to the operator on the condition of the machine.

An example of preferable data included in a test report is shown below.

a) Machine data

- manufacturer
- type and serial number
- year of manufacture
- original winding/date of rewind
- rated voltage
- rated current
- rated apparent power
- rated power factor
- rated frequency
- insulation class/maximum permitted winding temperature
- insulation system
- stator cooling system/media
 - indirect air/hydrogen/carbon dioxide
 - direct cooled/air/hydrogen/water

b) Owner's data

- owner
- location
- unit

c) Operational data

- operation mode (continuous/intermittent)
- inverter driven
- total and/or equivalent operating hours to date
- total starts to date, if available categorized in hot, warm and cold starts
- number of trips to date
- maximum winding temperature and conditions
- average winding temperature
- important events to date

d) Test circuit and equipment

- description of the test circuit according to 7.3
- test equipment used

- manufacturer
 - type
 - serial number
 - calibration date and certificate number
 - capacitance of the coupling capacitor (if used)
 - instrument settings
 - type of normalization equipment used
 - measuring bandwidth of the PD measuring system
- e) Test conditions
- test specialist
 - date
 - ambient temperature
 - stator winding temperature
 - relative humidity
 - ambient air pressure
 - state of the machine/stator winding (normal cooling medium/pressure, or open at ambient condition)
 - frequency of applied test voltage, if not identical with rated frequency
- f) Test results
- insulation resistance
 - instrument settings
 - test voltage levels / ramping rate
 - oscillogram of test voltage, if available
 - conditioning process
 - normalization/calibration factor (per connection if relevant)
 - noise level
 - sources of ambient disturbances if known
 - $Q = f(U)$ and indication of PD magnitude calculation, if Q_m or Q_{iec}
 - phase-resolved discharge number distribution if available
 - phase-resolved discharge magnitude distribution if available
 - phase-resolved partial discharge patterns if available
- g) Diagnosis and recommendations
- based on
 - measurement results
 - comparison with earlier measurements if available
 - a reference database or reference patterns, if applicable
 - observations made during the measurement

It is advisable to store the measurement results in the most original data-format for future reference.

Annex A (informative)

Influence parameters of test frequency to testing procedure

For the majority of tests, it will be most convenient to perform them at power line frequency of 50 Hz or 60 Hz. Knowledge of ageing behaviour and PD phenomena is well documented for such frequencies. When using a resonance test system at differing frequencies, and even more for test with lower frequencies, for example 0,1 Hz, the tests described in 9.1.5 need to be adapted to that.

Since there is a correlation between test frequency and the repetition rate of partial discharges [7], the dwell time during step voltage testing shall be increased and the slew rate during continuous ramped testing shall be reduced for VLF testing to capture a meaningful repetition rate of PD events. When consequently considering the linear frequency dependency mentioned, the testing time at VLF to get an identical amount of partial discharges will increase so much that testing will become unpractical.

To reduce testing effort to adequate times, the following dwell times and slew rates are proposed, see Table A.1:

**Table A.1 – Recommended minimum measurement time
and maximum slew rates**

Test frequency	Hz	400	50/60	10	5	1	0,5	0,1
Minimum measurement time	s	10	10	20	25	50	60	100
Minimum number of cycles	-	4 000	500/ 600	200	125	50	30	10
Maximum slew rate, generation of $Q = f(U)$	V/s	1 000	1 000	200	100	30	20	10

NOTE As a general rule, the PD phenomena like PDIV may be frequency dependant. As a consequence, results gained at different frequencies may not be comparable. Testing results gained with frequencies other than the operation frequency may not reflect the behaviour during operation.

It is not recommended to measure for significantly shorter durations, because the probability to oversee sporadic discharge sources is high. On the other hand, when taking into account that most PD visualization methods are based on a phase reference such as zero crossing, a too long measurement time is also not advised. Frequency jittering or false detection of zero crossings makes for example the PRPD patterns looking fuzzier.

When generating characteristic values out of a measurement string, such as charge values like Q , the measurement frequency or the number of cycles influences the result significantly. Taking for example Q_m that is defined as the magnitude where PD repetitively occur 10 times per second or above at power frequency, a comparable amount of cycles and therefore of discharges will occur at longer or shorter times. For example, a measurement taken with a resonance transformer operating at 30 Hz has half as many cycles per second, so that the Q_m at 30 Hz has to be defined as the value where 10 pulses occur per 2 s – or vice versa for measurements at higher frequencies.

Annex B (informative)

Alternative methods to determine discharge magnitudes

B.1 Q_m , according to definition 3.14

According definition 3.14 Q_m is defined as the magnitude associated with a PD pulse repetition rate of 10 pulses per second (pps), which can be directly inferred from a pulse magnitude distribution. To refer to the value at given polarity e.g. to indicate polarity predominance, the suffix of the polarity sign is added, such as Q_{m+} and Q_{m-} . For different pulse magnitude distributions, Q_m may be identical, whereas Q_{m+} or Q_{m-} may be different. An example for that situation is shown in Figure B.1.

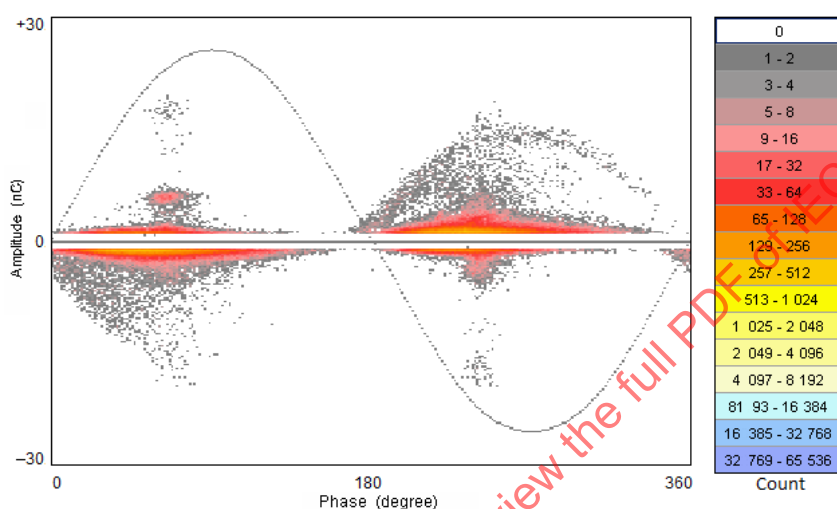


Figure B.1a – Capacitive equivalent of Figure D.1a

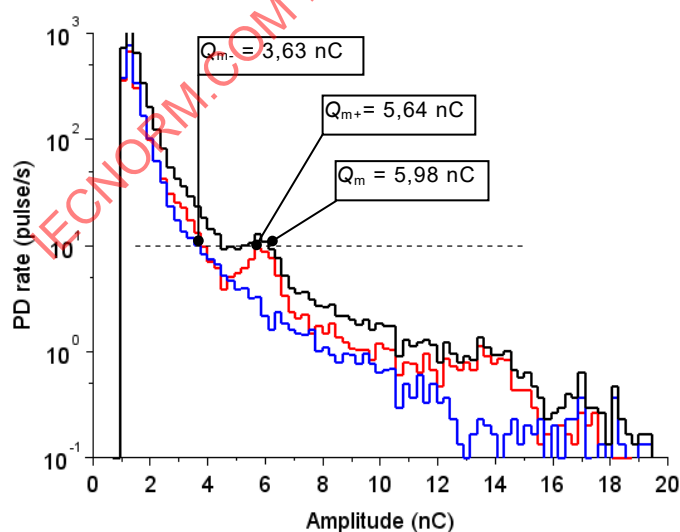


Figure B.1b – Capacitive equivalent of Figure D.1a

Figure B.1 – Example for the indication of polarity effect

The phase resolved partial discharge pattern in Figure B.1a has a dissymmetric polarity, higher discharge magnitudes at the negative half cycle.

The pulse magnitude distribution of that pattern, shown in Figure B.1b, shows that the positive pulses in red are more frequent in the highest amplitudes than the negative pulses in blue. Due to the logarithmic scaling of the pulse count axis the overall PD magnitude Q_{m+} is nearly identical with Q_m in that example.

The black curve is the absolute value of the PD pulses. The curve crosses the pulse rate of 10 pps at a higher amplitude.

The same method can be applied, when using digital instruments, for the weighted occurring PD magnitude Q_{iec} in accordance to definition 3.15.

In practical systems, the pulse per second (pps) rate is counted by defining an amplitude range. The highest limit of this range for which the impulse count rate is higher or equal to 10 pps defines Q_m . The choice of the amplitude range, as defined for example by the digitizer, the maximum scale and other settings that influence the pulse count such as the trigger level and the blocking time for the peak detector may have a significant influence on Q_m . For too narrow amplitude range, the 10 pps count rate may never be obtained.

B.2 Cumulative repetitive PD magnitude Q_r

By nature, digital instruments transform a real number into a finite set of numbers. These result in rounding errors when calculating representative charge values Q_m or Q_{iec} . Higher discretisation accuracy of the analog to digital conversion unambiguously result in lower Q values, whereas lower discretisation steps result in higher values, so that for example a 12-bit system would probably tend to indicate slightly lower Q values than a 6-bit system.

For illustration, the PD pattern from Figure B.1a (measured with 8-bit resolution A/D converter) is transferred to 5-bit resolution, as shown in Figure B.2a. The difference between both is about 40 %, although the data source is identical.

An alternative method to calculate a representative charge value may be to calculate the cumulative frequency of a given pulse magnitude distribution [2]. The threshold value where the 10 highest pulses occur within a time window of 1 s is then representing the cumulative repetitive PD magnitude Q_r (Figure B.2b).

This quantity may as well be determined directly using a threshold circuit ahead of an impulse counter. But it may also be derived from a pulse magnitude distribution.

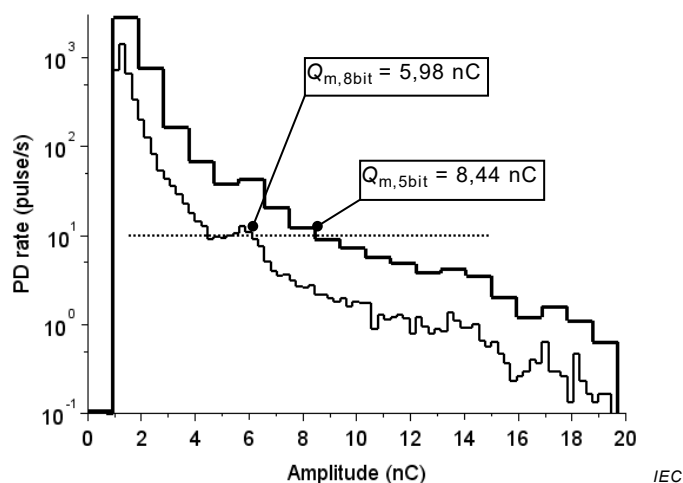


Figure B.2a – Q_m calculation, based on 5-bit and 8-bit raw data

The pulse magnitude distribution in Figure B.2a is based on measurement from Figure B.1. It shows the effect of discretisation when the same data set is reduced from its 128 unipolar levels (8-bit AD bipolar converter) to 5 bit lower conversion accuracy (32 unipolar levels). When calculating Q_m based on these data, the difference between both values is 2,5 nC. The total number of pulses is distributed into larger amplitude classes; therefore, more PD pulses are counted in each class.

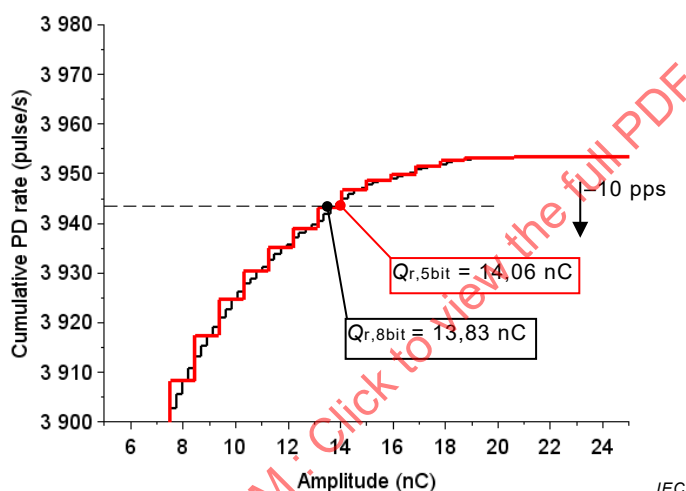


Figure B.2b – Q_r calculation, based on 5-bit and 8-bit raw data

In Figure B.2b, the cumulative repetitive PD magnitudes Q_r is plotted using the same data set of Figure B.1 for the 128 unipolar levels and 32 unipolar levels. The total PD pulses count is exactly the same, in this example 115 696 pulses over a period of 30 s. The pulse magnitude distributions differ by 0,23 nC only.

Figure B.2 – Effect of A/D conversion accuracy and the calculation of Q_r , Example

As for Q_m and Q_{iec} , Q_r is influenced by the setting of the instrument, but is less influenced by the choice of the amplitude ranges and A/D conversion accuracy, when their number increases. As for Q_m , Q_r is defined with the absolute value. To refer to the value at given polarity, the suffix of the polarity sign is added, such as Q_{r+} and Q_{r-} . For the same pulse magnitude distribution, Q_{r+} or Q_{r-} may be different from Q_r .

Annex C (informative)

Other off-line methods for PD detection and methods for localization

It should be noted that PD activity might not be restricted to the machine end-winding. Conduit boxes, cable routing, termination boards and stand-off insulators, etc., can initiate PD, and should be included when using the methods mentioned below.

The following given methods are non-comparable and non-quantifiable. A more detailed overview is given in [1].

a) Visual detection with naked eyes [8]

Dark room (black-out) test with AC voltage: a method of determining the presence and location of surface or gap discharges under complete darkness. The (variable) high voltage is applied to single winding components or to whole phases of a machine to detect discharge activity on the winding surface of the stress control coating or between phases at distancing pieces, support rings, etc.

Note that corrective or protective eyewear will utilize UV filtering for protection. This will limit or not allow the inspector to detect visual discharges.

b) Ultraviolet detection [8]

The surface PD activity will not only generate light in the frequency range that is detectable with optical imaging methods, for example with the eyes (see a) but also in the higher ultraviolet range. Such light can be detected with special UV detectors and allows the visualization not only in dark ambient but also at daylight. This method is preferable to the previously discussed visual detection method, especially when taking into account safety concerns.

c) Acoustic detection

AC voltage test in silent environment: localization by the naked ear or an acoustical wave-guide (with flashover protection) for example insulated stethoscope. Be aware that it is normally not possible to detect PD activity within the groundwall insulation with acoustical methods unless the activity is relatively high.

d) Ultrasonic detection

The acoustic shock wave created by PD on the winding surface or at gaps generates acoustic noise (see c) in the frequency range of several hundred Hertz to above 100 kHz, with the maximum of acoustic energy around 40 kHz. These can be detected with special ultrasonic detection equipment.

e) Electromagnetic probe

The use of electromagnetic probes to locate sources of PD requires scanning of stator slots (which may sometimes require the removal of the rotor), slot exit areas or end-winding area at different applied voltages. In addition to obtaining measurements at highest voltage level, it may be desirable also to take similar measurements at discrete intermediate voltage steps. Typically, these types of probes are best utilized when data can be compared to an established database that enables ranking of the machine being tested.

It should be noted that probes can disrupt the electric field, possibly inducing spurious discharges. Respectively, special additional safety requirements have to be considered if using the electromagnetic probe.

Annex D (informative)

External noise, disturbance and sensitivity

D.1 General

Noise and disturbances may be defined as any part of the observed electrical signal that is unwanted. The nature of PD measurements requires that noise be classified as inherent noise in the measuring instruments and that which is due to external disturbances. External disturbances due to constant wave signals or pulsed interference signals can occur either as conducted or irradiated signals. There is a close link between sensitivity, noise and disturbances. Therefore, it is impossible to discuss one of these topics without dealing with the other two topics at the same time. Since the person who has to perform off-line tests on site or during factory tests has usually a given measuring device, the following Clauses will be limited to basic problems and how to deal with them.

D.2 Sensitivity

The sensitivity of a PD measuring device can roughly be defined by the ratio of the real PD energy, at the PD location, to the energy that reaches the PD detector and that is measured there.

At the time a PD occurs, the whole test arrangement (Figure D.1) with its capacitances including transformer (i_{PDt}), power lines (i_{PDI}), the PD coupling unit (i_{PDC}) and the test sample (i_{PDS}) itself, recharges this PD location. Obviously, the sum of all of these current components is equal to the resulting current at the PD location: $i_{PD} = i_{PDt} + i_{PDI} + i_{PDS} + i_{PDC}$.

Consequently, the ratio $i_{PDC} / (i_{PDt} + i_{PDI} + i_{PDS})$, i.e. the charge displacement on the coupling capacitor, reflects the sensitivity of the measurement and thus, the higher the capacitance of the PD coupling unit and thus the ratio of coupling capacitance to the test object capacitance, the higher is the sensitivity of the measurement.

Therefore, if one is free to choose the coupling capacitor, the highest sensitivity can be expected with a coupling capacitor having a large capacitance. At least, the coupling capacitor needs to fit well to the band pass characteristic of the measuring equipment and to the measuring impedance Z_m .

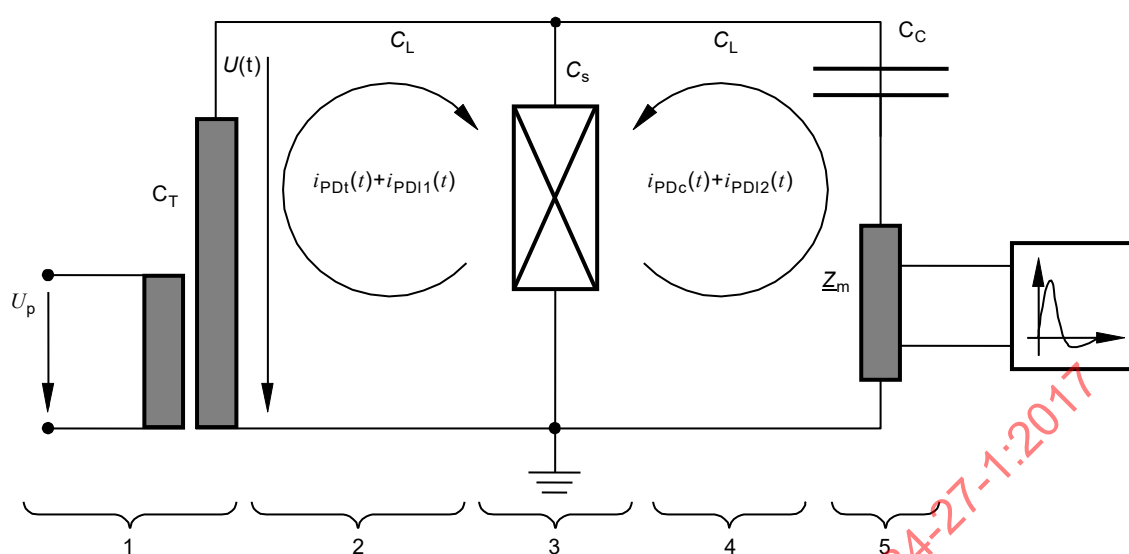


Figure D.1a – Recharging of the test object by various current components, circuit components

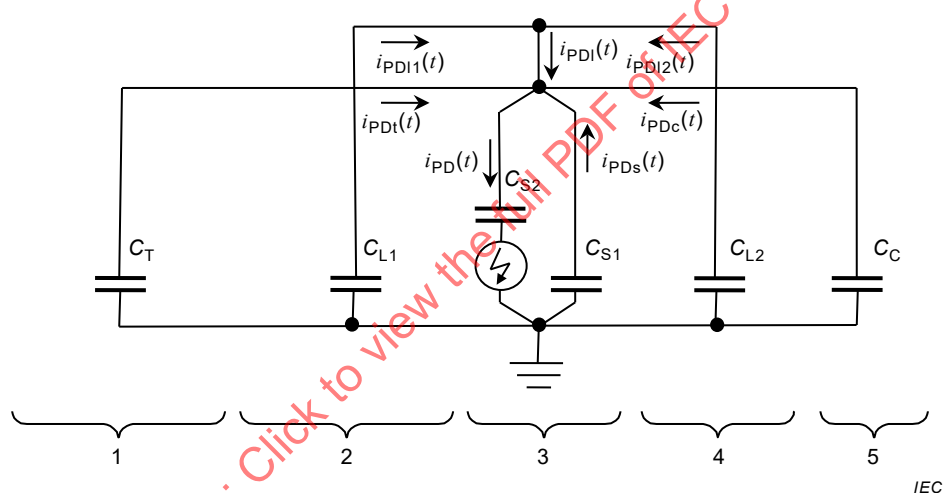


Figure D.1b – Capacitive equivalent of Figure D.1a

Key

- 1 transformer, auxiliaries
- 2 line
- 3 sample
- 4 line
- 5 coupling device
- $U(t)$ test voltage (transformer secondary voltage)
- U_p transformer primary voltage
- C_L power line stray capacitance
- C_{s1} sample capacitance, parallel component
- C_{s2} sample capacitance, serial component
- C_T transformer stray capacitance
- C_C coupling capacitor
- $i_{PDt}(t)$ transient PD current over transformer path
- $i_{PDc}(t)$ transient PD current over the coupling unit path
- $i_{PDs}(t)$ transient PD current within capacitive sample
- $i_{PDI}(t)$ transient PD current over cable capacitances

Figure D.1 – Recharging of the test object by various current components

D.3 Noise and signal-to-noise ratio

The total noise in an electronic system results from two distinct types of noise: fundamental noise and excess noise. Fundamental noise arises from the motion of discrete charges in electrical circuits and cannot be completely eliminated. Excess noise arises from imperfect instrumentation or non-ideal component behaviour and can in principle be reduced to insignificant levels. Both types of noise, in principle, display frequency independent magnitudes. Since the excess noise is mainly influenced by instrument design, it can only poorly be influenced and reduced by personnel taking PD measurements and is therefore not further discussed.

The main fundamental noise is the thermal noise (Johnson noise) that is caused by thermal movement of discrete charges. Across a resistance these thermal fluctuations of the charge carriers lead to a voltage drop that appears as external noise across such components. Obviously, the noise level increases with temperature (faster thermal movement) and with the resistance (higher voltage drop).

Since all PD measuring systems, compliant with IEC 60270, work in principle with quasi-integration-filters, the bandwidth of the measuring device leads to the same behaviour for signal and noise: the larger the bandwidths, the more signal energy will be detected. Therefore, the output signal of such an integrator will increase with increasing bandwidth, resulting in higher output signals for the wanted PD signal and the noise signal as well. However, in contrast to the amplitude frequency spectrum of the wanted PD signal, which is constant up to very high frequencies, the thermal noise spectrum decreases with increasing frequency.

Since the output signal of a band pass filter is proportional to bandwidth for a PD pulse and proportional to the square root of the bandwidth for thermal noise, the signal-to-noise ratio SNR rises roughly with the square root of the bandwidth – the higher the bandwidths, the higher the SNR.

The relations described in the last paragraph are valid for a given PD coupler with a fixed resistive measuring resistance. Such a configuration leads to fixed lower cut-off frequency and is therefore valid for one special arrangement. To reduce the lower cut-off frequency, it is necessary to increase the coupling capacitance. Such larger couplers lead to larger currents through the sensor and therefore to higher output signals. Therefore, devices operating in low frequency ranges with low bandwidths may have the same SNR as measuring devices operating in high frequency range with large bandwidths. At least the measuring circuit consisting of coupling capacitor, coupling impedance and the measuring instrument have to match together.

D.4 Disturbances

This clause distinguishes between disturbances and noise by their nature. Disturbances appear sporadically or periodically and are from external sources, for example converters, voltage dips or nearby PD sources like high voltage corona. During installation of the off-line measuring device, some measures have to be taken to reduce the negative effect of such disturbances. For off-line measurements some of these external signals are less dominant than for on-line measurements. Some general rules to reduce the influence of such external disturbance signals are given in 9.1.6.2.

Annex E (informative)

Methods of disturbance suppression

E.1 Frequency range limiting

The idea behind this method is, that the frequency spectra of external disturbances (interference noise) do not show a continuous frequency spectrum in the way described in Figure 1 for PD pulses.

For reducing the influence of such disturbances to the measurement circuit, narrow band systems (Annex H) with bandwidths between 9 kHz and 30 kHz can be used. When shifting the centre frequency between the highest disturbances the influence will be significantly reduced. The measuring device can be matched to the test arrangement.

E.2 Phase window masking

Phase stable disturbances can be eliminated by fading them out (Figures E.1 and E.2). This can be done electronically by disabling the measuring channel during pre-defined phase windows. The user should be aware that both, disturbances and PD from the test object are masked and that the data are irretrievably lost.

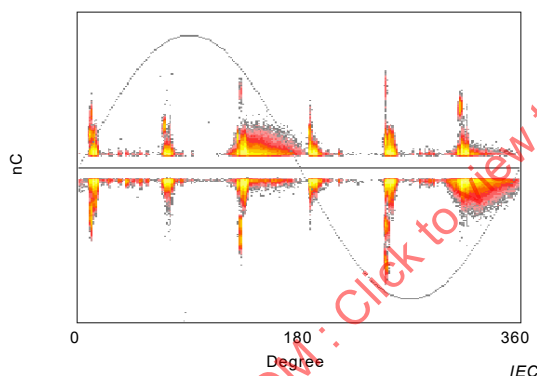


Figure E.1 – Without window masking

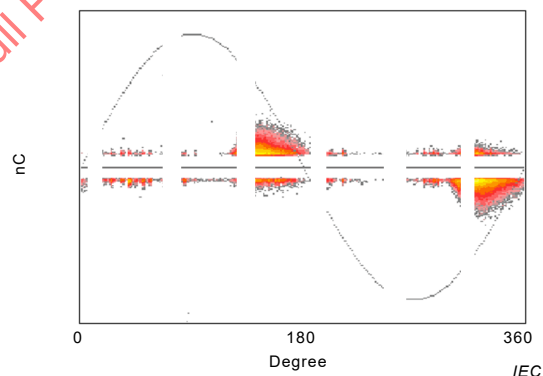


Figure E.2 – With window masking

E.3 Masking by noise signal triggering

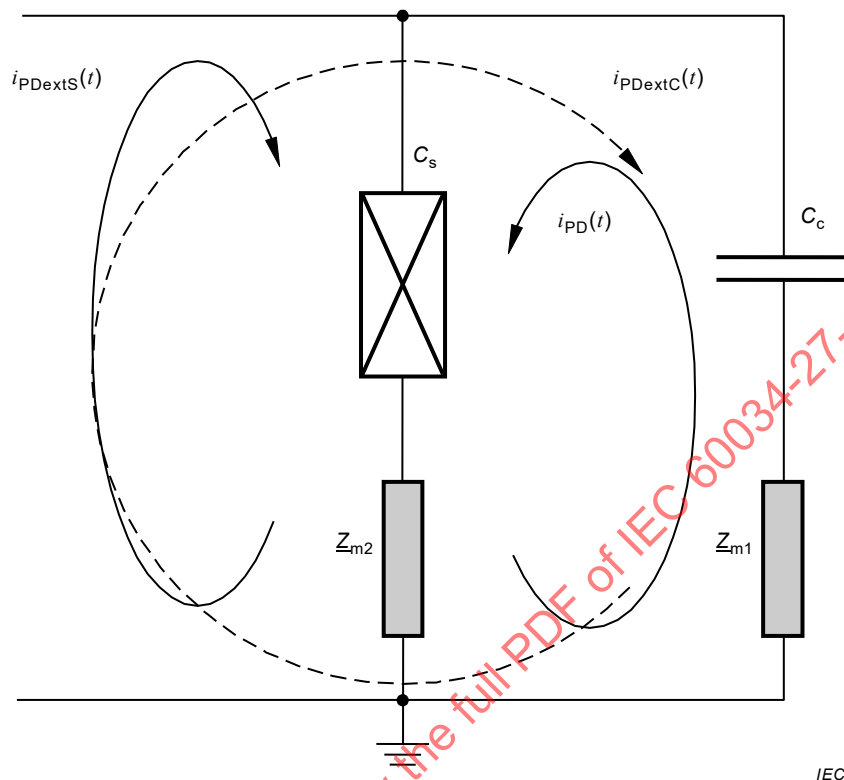
The PD measuring device shall be equipped at least with two input channels: besides the measuring channel, a second measuring channel, operating as a gating channel, is necessary. If this second channel receives a signal, the measuring channel will be disabled for a certain time. Therefore, the PD sensor of the gating channel has to be adjusted thoroughly to the source(s) of disturbance.

E.4 Noise signal detection by measuring the propagation time

The PD pulse propagates as a wave through the test object and the cabling. Therefore, the pulse reaches different locations in the test object and the cabling at differing times. When installing two PD couplers at various locations, the direction of the pulse can be registered. External PD signals as well as external disturbances can then be separated from the PD signals coming from the test object. If external disturbances are cross-coupled to the test object they will be handled as PD from the test object.

E.5 Two-channel signal difference method

Since both external signals and PD from the insulation propagate through the test sample and through the PD coupling device, they can be measured at both locations.



Key

C_s	sample capacitance
C_c	coupling capacitor
Z_{m1}, Z_{m2}	coupling device (measuring impedance)
$i_{PD}(t)$	PD current due to PD in the test object
$i_{PDextC}(t)$	PD current in the coupling unit path due to external PD
$i_{PDextS}(t)$	PD current in the sample path due to external PD

Figure E.3 – Pulse currents through the measuring circuit

Obviously, the voltage drops across both measuring impedances have the same polarity for external sources and opposite polarities for PD from the test object itself (see Figure E.3).

Two optional ways of connecting the measuring device to the low voltage coupling devices (measurement impedances) are possible:

- a measuring instrument with two inputs, one for each coupling device, measures the voltage drops individually. With the polarity information, the external signals can be faded out afterwards;
- a measuring device between the upper connections of the measuring impedances. When assuming same measuring impedances and no phase shift of the currents through the two circuits the measured voltage difference is about zero for external signals or disturbances and is doubled for PD coming from the test object.

E.6 Suppression of constant wave (CW) signals by digital filtering

Constant wave signals are narrow band sinusoidal noise signals, for example caused by the carrier frequencies of radio stations. A powerful method to suppress constant wave noise is the use of high order digital filters, which are adjusted to reduce the noise at different frequency bands, at which constant wave noise is present. These filters are implemented within digital PD measuring devices as signal processing algorithms. Compared to frequency range limiting with narrow band PD measuring systems (see Clause E.1), the advantage of digital filtering is the higher energy content of the PD signal that can be detected from the winding, resulting in a higher signal-to-noise ratio. In addition, the information on pulse polarity is preserved.

To reduce the unwanted signals, their frequencies should be known. Therefore, this method requires the analysis of the detected signal in the frequency domain. The determination of the filter coefficients is performed by analysing the noisy environment in the frequency domain to detect and weigh the noise frequency regions for subsequent fade-out. Thus, the optimal digital filter design depends on the individual environment, in which the PD test is performed.

During the actual PD measurement, the detected signals are then processed in accordance with the specific filter characteristics.

E.7 Noise and disturbance rejection using signal processing techniques

Noise and pulsed disturbance can be due to several sources in a power plant, for example corona discharges (PD outside the test object) or pulses due to power electronic devices like machine exciters.

Pulsed noise rejection can be obtained by analysing the digitized pulse shapes. Indeed, PD and noise pulses are usually different in shape, thus in frequency spectrum, due to the nature of the source and of the transfer impedance between the pulse source and the detector input. As an example, pulses due to the exciter have usually a lower frequency content than PD pulses originating from the insulation system.

This approach requires a suitable hardware which is capable of capturing the pulse shape for each single PD event (i.e. providing sufficient bandwidth, sampling rate and acquisition memory, capable of acquiring pulses on the basis of trigger conditions and with small dead time) and appropriate software tools. To reduce the effect of continuous, additive noise, the detector frequency response can be profiled using appropriate filters.

By classifying each recorded pulse in accordance with some characteristic parameters, for example bandwidth, pulse shape, decay characteristics, etc., it may be possible to separate PD in the test object from noise pulses and to assign each single pulse to a certain PD source category or location. Such a classification may then also be used efficiently to analyse each detected PD source separately, for example for trend evaluation.

A general procedure for the separation of PD pulses from noise pulses may be the following:

- record a sufficiently-large number of pulses;
- from each recorded pulse, extract some features which can outline the differences between PD and noise pulses;
- group pulses having similar features together;
- for each group, evaluate a phase resolved PD pattern;
- discard those pulses which give rise to phase resolved PD patterns undoubtedly associated with noise; this procedure can be automatic or on the basis of operator experience.

In Figures E.4 and E.5, two examples are shown for a pulse classification in accordance with their equivalent time length T and bandwidth W . The definition of these parameters can be found in standard textbooks on telecommunication theory.

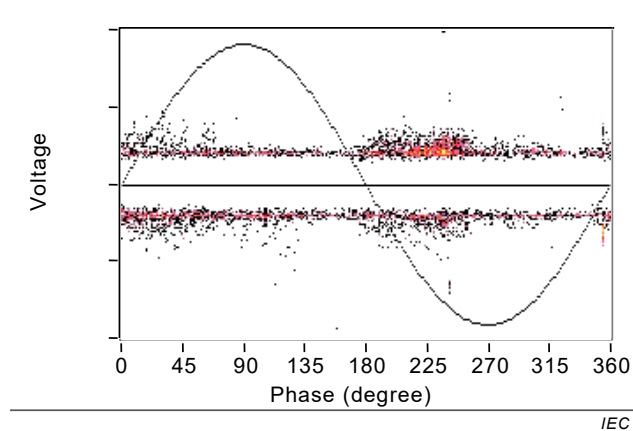


Figure E.4a – Complete acquisition pattern

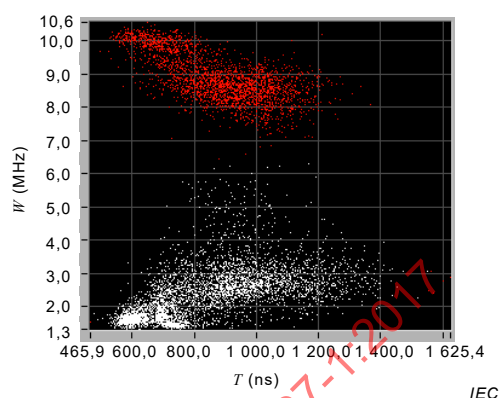


Figure E.4b – Time/frequency map of recorded pulses

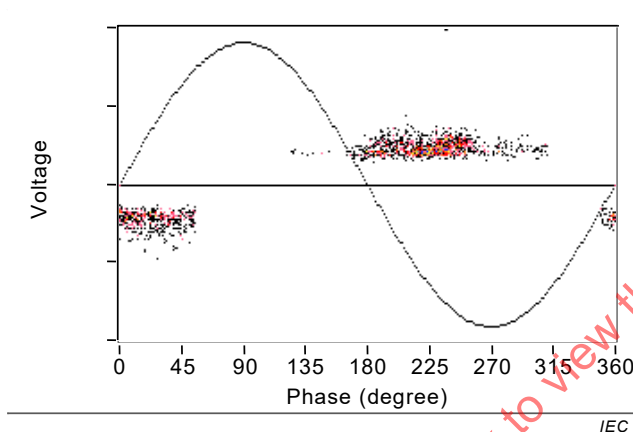


Figure E.4c – Sub-pattern 1, red cloud in time/frequency map: internal discharges

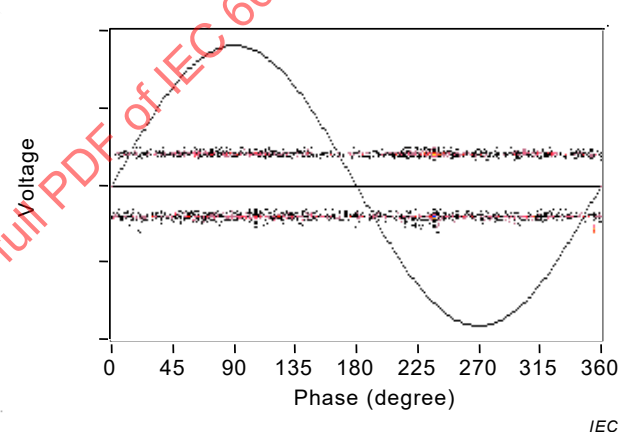


Figure E.4d – Sub-pattern 2, white cloud in time/frequency map: uniformly-distributed noise

Figure E.4 – Example of noise rejection

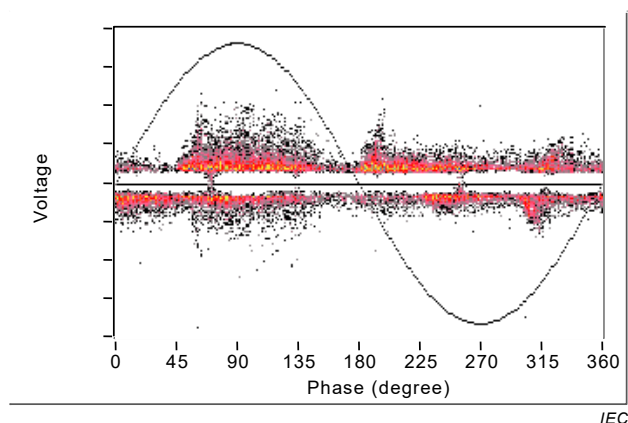


Figure E.5a – Complete acquisition pattern

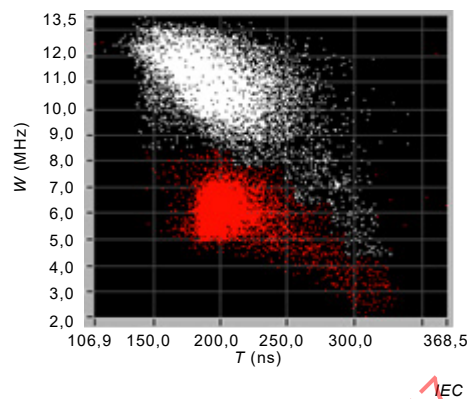


Figure E.5b – Time/frequency map of recorded pulses

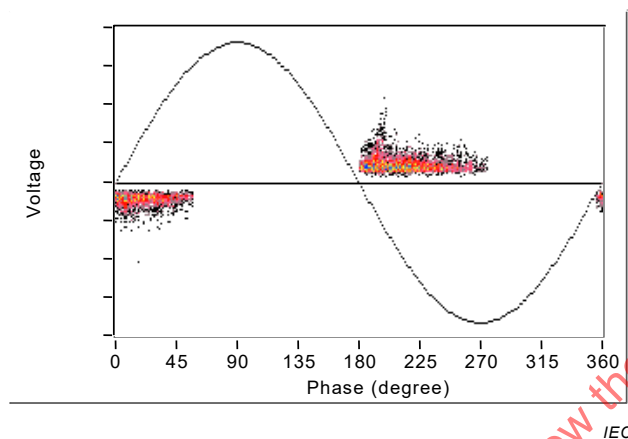


Figure E.5c – Sub-pattern 1, white cloud in time/frequency map: internal cavity discharges

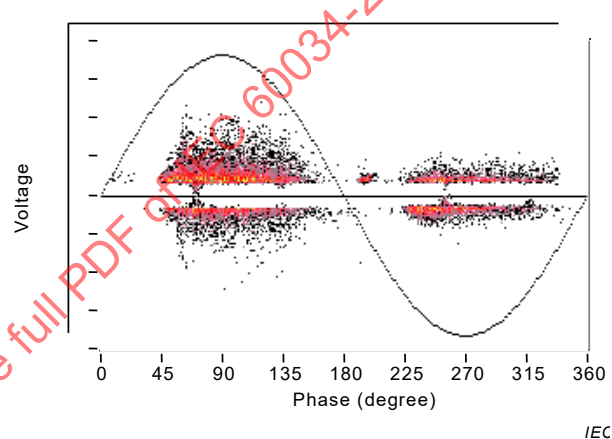


Figure E.5d – Sub-pattern 2, red cloud in time/frequency map: cross-talk

Figure E.5 – Example of cross-talk rejection

External disturbances can often be reliably suppressed by the one or more of the following:

- Power supply filtering
- Power supply isolation transformers
- Electromagnetically shielded rooms
- Performing the test in a facility after working hours.

Annex F (informative)

Interpretation of PD magnitude data and phase resolved PD patterns

F.1 Instructions for interpretation of PRPD patterns

F.1.1 Example of PRPD patterns

The following measurements were taken under well-controlled laboratory conditions [6], so that the PD processes are well-known. The phase resolved PRPD patterns may give an impression of possible PD patterns that can be measured and that can be displayed when using appropriate measurement equipment. Superposition of patterns is possible, also variation in pattern shape, PD frequency or other characteristics. Different patterns than shown here may occur for different PD sources. Note that in some situations the patterns shown below may also be measured when other types of deterioration are occurring.

The PD patterns shown here (Figure F.1) were measured with the low voltage coupling device placed on the ground side of the coupling capacitor in accordance with Figure 4a.

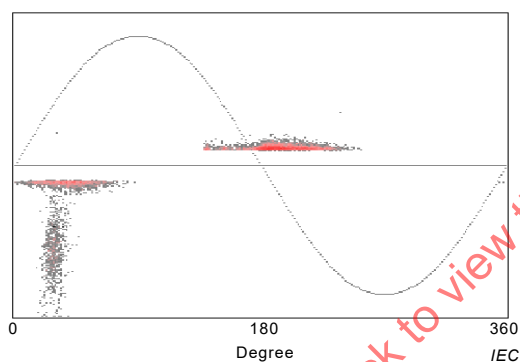


Figure F.1a – End-winding discharges

Surface discharges/tracking along the winding overhang due to contamination at the air/insulation interface

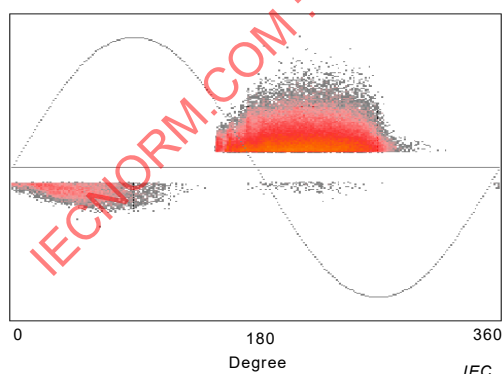


Figure F.1b – End-winding discharges

Discharges at the junction of the conductive slot coating and the stress control coating due to inadequate interface properties

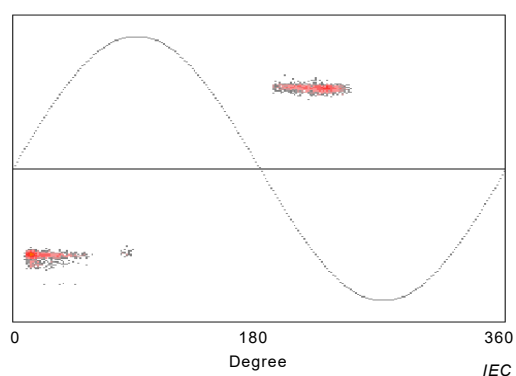


Figure F.1c – End-winding discharges

Gap type discharges between bars in the winding overhang or between a bar and the press finger of the core

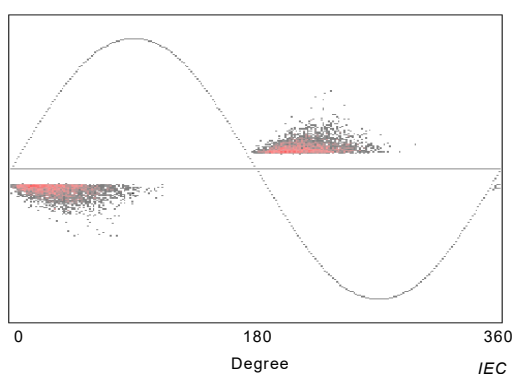


Figure F.1d – Internal void discharges

Discharges from internal voids within the main insulation

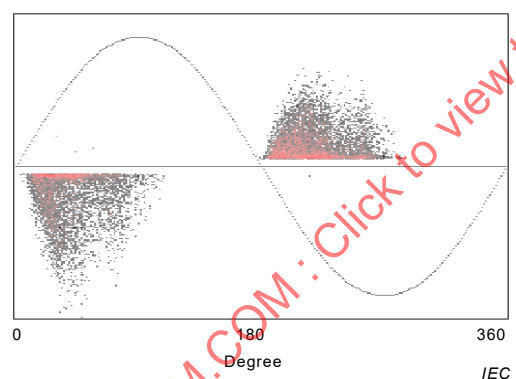


Figure F.1e – Debonding discharges

Discharges from debonding between the main insulation and the copper conductor

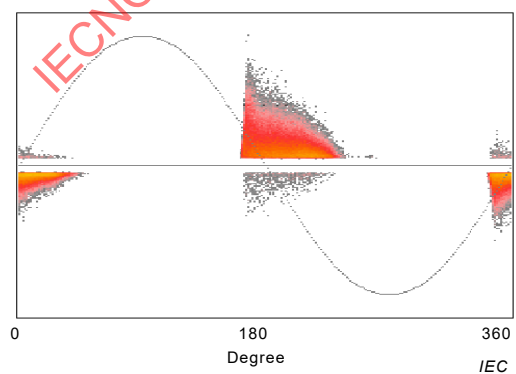


Figure F.1f – Slot discharges

Slot discharges in the air gap between the laminated stator core and the side of the stator bar

Figure F.1 – Example of PRPD patterns

F.1.2 Relative severity of different PD mechanisms

Table F.1 refers to Clause 4 (Nature of PD in rotating machines) and will give some basic ideas with regard to the severity associated with some major PD sources.

Table F.1 – Severity associated with the main PD sources in rotating machines

PD source	Insulation condition assessment	Impact of ageing phenomenon
Internal voids 4.2.2.1	Inner (internal) PD are generated within air or gas filled pockets that are embedded within the main insulation. They result from the manufacturing process and do not indicate ageing factors. Under normal circumstances, internal discharges do not lead to remarkable ageing	Low
Internal delamination 4.2.2.2	Internal delamination PD are generated within air or gas filled elongated pockets (in longitudinal direction) that are embedded within the main insulation. They often result from overheating or from extreme mechanical forces that both can lead to separation of large areas between insulation layers	Moderate
Debonding between conductors and insulation 4.2.2.3	Debonding PD between conductors and insulation material are generated within air or gas filled elongated pockets (in longitudinal direction) that are embedded between the main insulation and the field grading material. They often result from long term overheating or from extreme mechanical forces that both can lead to separation of large areas between insulation layers	Moderate for bar winding High for coil winding
Slot discharges 4.2.3	Slot discharges are generated by poor, or missing, contact between the conductive slot coating and the stator slot wall. The conductive coating may have a too high local resistance, or vibration of loose coils/bars may damage the conductive coating. Slot discharges may also be caused by vibration sparking. Vibration sparking occurs when the conductive coating is too conductive and the bars/coils are loose in the slot (and thus vibrate due to the electromagnetic forces)	Moderate if winding is tight High if winding vibrates
End-winding gap and surface discharges 4.2.4	End-winding and surface PD are generated somewhere on the surface of the insulation material and therefore are located normally in the end-winding section of a machine. They result often from conductive contamination (carbon, oily dust, abrasion, etc.) or from damaged field grading materials. Since surface discharges only appear on the surface of the insulation they normally do not lead to significant ageing. However, in the presence of other factors such as high ozone concentration or surface contamination, ageing can be accelerated	Moderate
Foreign conductive materials / contamination 4.2.5	PD from conductive particles are generated somewhere on the surface of the insulation material and therefore are located normally in the end-winding section of a machine. They result often from large areas of conductive contamination (carbon, oily dust, abrasion, etc.) or from separated regions of field grading materials. Since they only appear on the surface of the insulation they normally do not lead to significant ageing. However, in the presence of other factors such as high ozone concentration or surface contamination, ageing can be accelerated	Moderate

The severity assessment given is based on experience with modern resin impregnated mica tape based high voltage insulation systems and may vary depending on the insulation material, quality of the insulation, intensity (energy) and the location of the PD source, surface conditions, etc.

The PD source indicated by the PD pattern should be confirmed by additional investigations, for example a visual inspection, to perform a reliable condition assessment. PD is related to electrical stress, while it is the combination of electrical, thermal, mechanical and ambient stresses appearing during machine operation that age the insulation system. For a new machine, the PD pattern will therefore not give a direct correlation to service performance, since electrical stress alone may not be the dominant ageing factor. For a machine that has been in operation, PD will be a symptom also for certain thermal, mechanical and ambient ageing phenomena.

The impact on the safe operation of the machine, repair time, and repair cost, does not always depend on the PD sources. Rather it depends on the cause or mechanism of insulation deficiency, deterioration and/or damage. The PD sources identified may indicate an early symptom of the insulation condition at the time measured. Wherever the PD sources are, it is very important to assess the cause of phenomena affecting the insulation condition.

Risk assessment of hazardous area machines, e.g. all kinds of explosion proof machines, require special attention and are excluded from the risk assessment according to Table F.1.

A basic magnitude assessment is most useful when also performing a PD source identification. For example, surface PD may be significantly higher than internal PD or PD from debonding, without indicating ageing phenomena that lead to premature insulation failure. Whereas, for example the presence of debonding processes on coil windings, independent of the measured PD amplitudes, indicate rapid ageing that needs to be repaired promptly.

F.1.3 Interpretation of the PD measurements from the line side and from the star point

The off-line test energizes the complete winding, from the line end to the star point. In operation, the voltage is distributed gradually along the winding. A localized defect close to the star point will create PD activity during the off-line test while it may not be active in operation. Let take the example of discharges between a bar and a press finger of the core at only one location due to a bad assembly. This defect located close to the line side could erode the insulation while the same defect close to the star point will be harmless.

Assuming the propagation attenuation is constant and symmetric along the winding, and assuming the PDIV of this defect don't change too much in normal operation compared to the off-line test conditions, it is possible to estimate if the defect is located closer to the star point or closer to the line side by comparing the associated PD patterns taken from the line side and from the star point, and therefore evaluating if this defect is active in normal operation.

This method is possible only if the PD pattern show a clear PDIV.

F.1.4 Inductive discharges / Vibration sparking

A variation of the slot discharge process is sometimes called the vibration sparking process [9]. The vibration sparking process may occur when the bars/coils are loose and vibrating, and the slot conductive coating is more conductive than usual. Due to the potential difference of the steel laminations along the slot, if the bar/coil surface is not in contact with the stator core for a long enough axial distance along the slot, arcing may occur where the vibrating bar/coil makes contact with the core. In case that the induced voltage and the current are above arcing condition, an arc (vibration sparking) between the laminated core surface and the conductive slot coating of bar/coil may be generated [9] and the arc may damage the conductive coating and ground wall insulation. When the conductive slot coating is sufficiently deteriorated by the vibration sparking in the bars/coils at the high voltage end of the winding, slot discharges may occur. In an off-line PD test, this can be measured as slot discharges.

As axial induced currents along the conductive slot coating could flow at all bars/coils independent of their position between neutral and phase connection, vibration sparking could occur at any point of the winding and thus also at low potential sites. The effects of vibration sparking erosion can be measured as slot discharge during off-line testing, if the conductive slot coating has been sufficiently damaged by vibration sparking, when comparing PD intensity and pattern at line terminal and neutral side.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-27-1:2017

Annex G (informative)

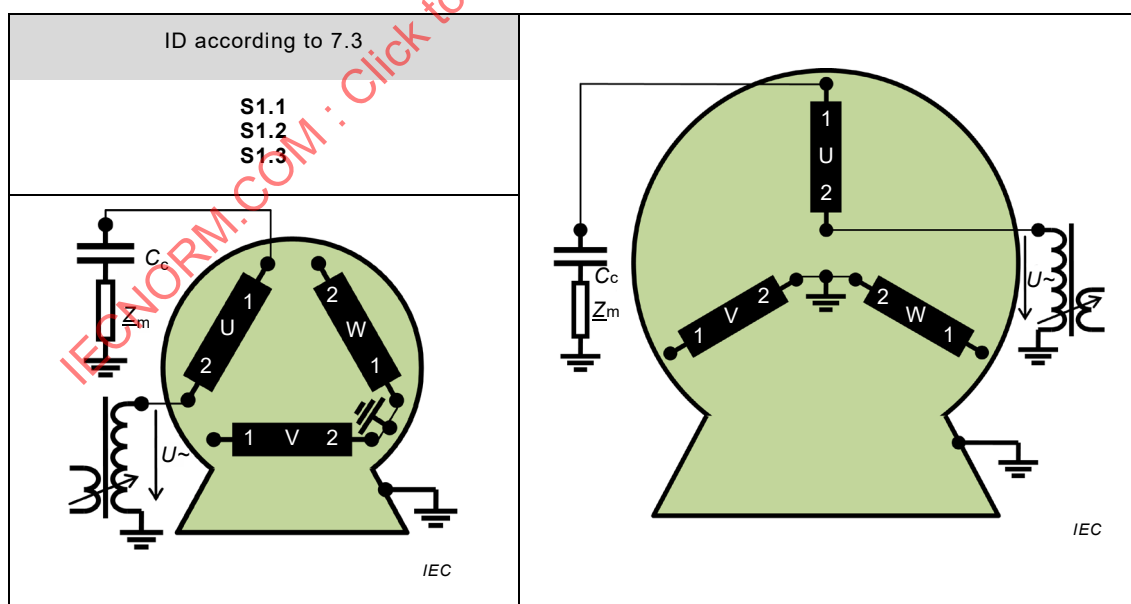
Test circuits for complete windings

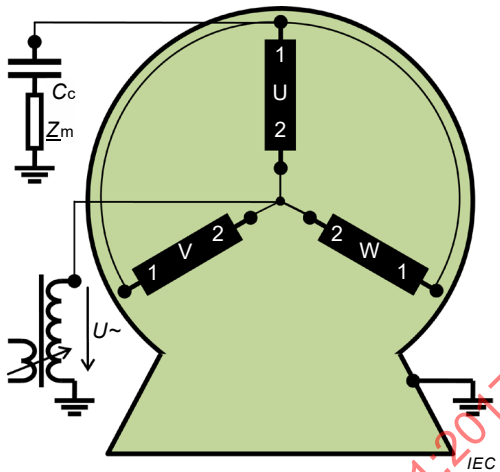
G.1 General

In 7.3 configurations are given for how to connect complete stator windings to the high voltage source and to the PD coupling unit. The intention of this supplement is to present the sometimes confusing connection types from the tables graphically.

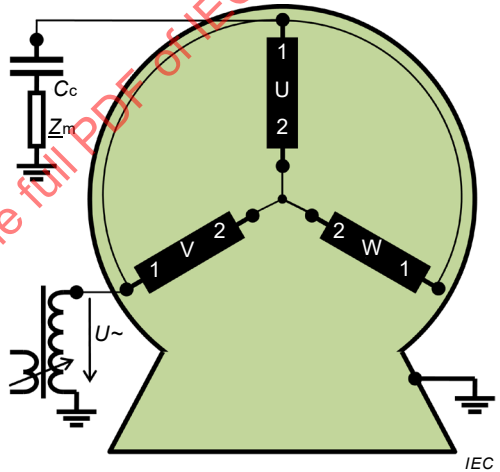
- Some schemes are representative for more than one identification number of the tables. All identification numbers matching to the scheme are mentioned herein;
- the winding typically is symmetric. Therefore, some of the schemes herein match not only to one phase but to the two other phases as well. Typically, the scheme is given for phase U measurement. For other phases the phase identification needs to be swapped;
- it is assumed that most of the machines covered by this current document have Y-connection. Therefore, the tables and diagrams in 7.3 are based only on such connections. In this annex, an additional scheme is shown for how to adapt these connections to machines with Δ -configuration, if applicable;
- single phase windings or multi-phase windings are covered either by Y or Δ -configuration. The one that matches best is to be used;
- deviant from the configurations in 7.3 the grounding can be done on any side of the winding. So when it is for example indicated as V1W1 in 7.3 it can also be done as V1W2, V2W1 or V2W2, if one of these is more convenient;
- for testing machines with closed winding connections it shall be ensured that the test equipment is strong enough to energize the entire winding up to desired voltage level.

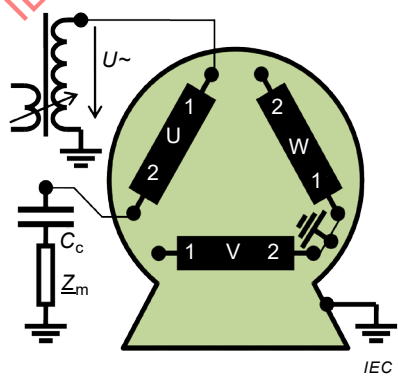
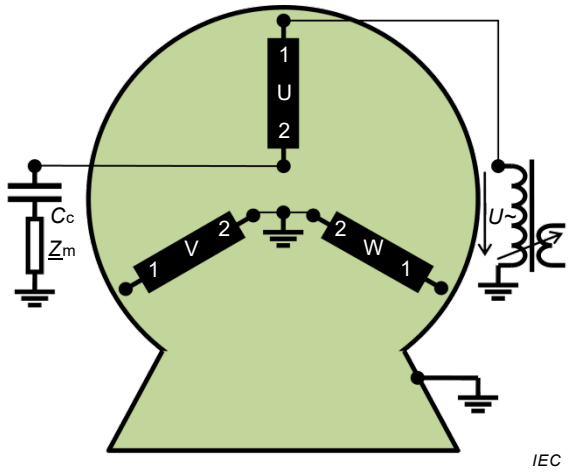
G.2 Schemes and illustrations (see Figure G.1)

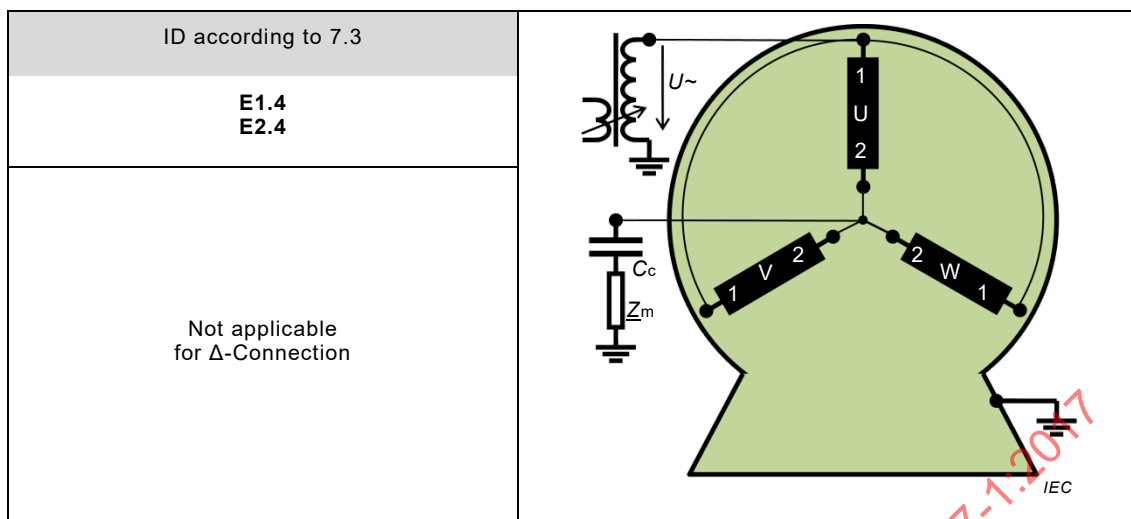


ID according to 7.3	
S1.4 S2.1	
Not applicable for Δ-Connection	

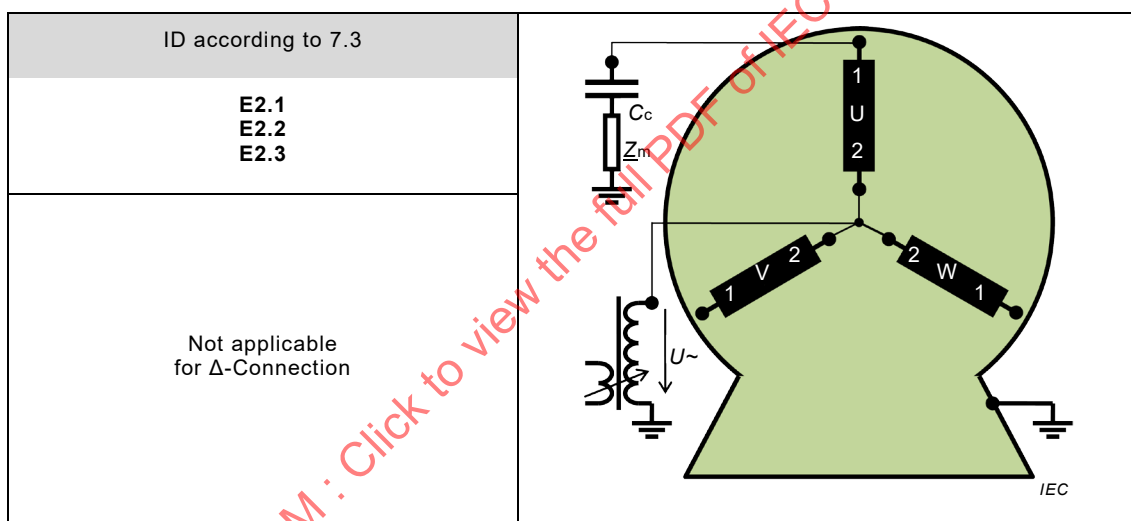
NOTE The purpose of this connection method is to use the damping along a winding to suppress noise from the power supply. By shorting all terminals of a Δ -arrangement the noise suppression cannot work.

ID according to 7.3	
S2.2 I1.4 I3.4	
Not applicable for Δ-Connection	

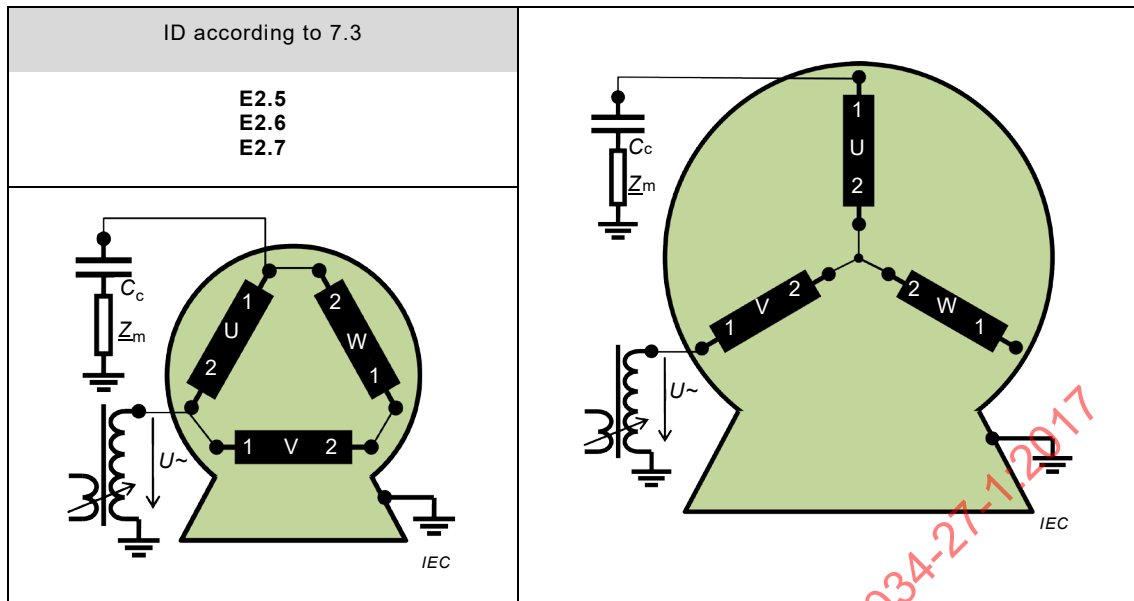
ID according to 7.3	
E1.1 E1.2 E1.3	
	



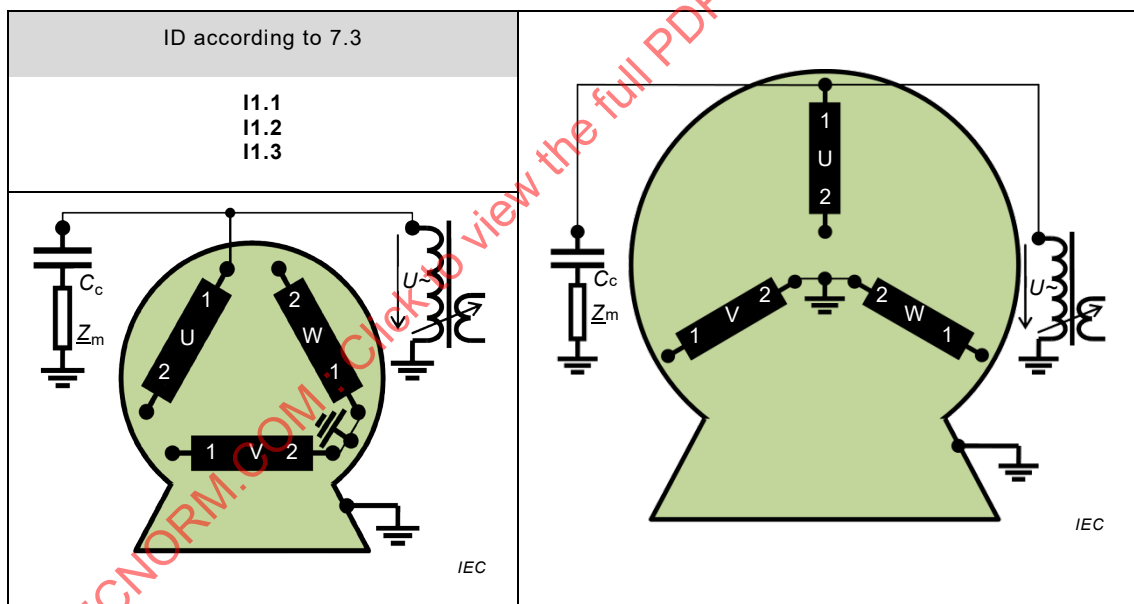
NOTE The purpose of this connection method is to use the damping along a winding to suppress noise from the power supply. By shorting all terminals of a Δ -arrangement the noise suppression cannot work.

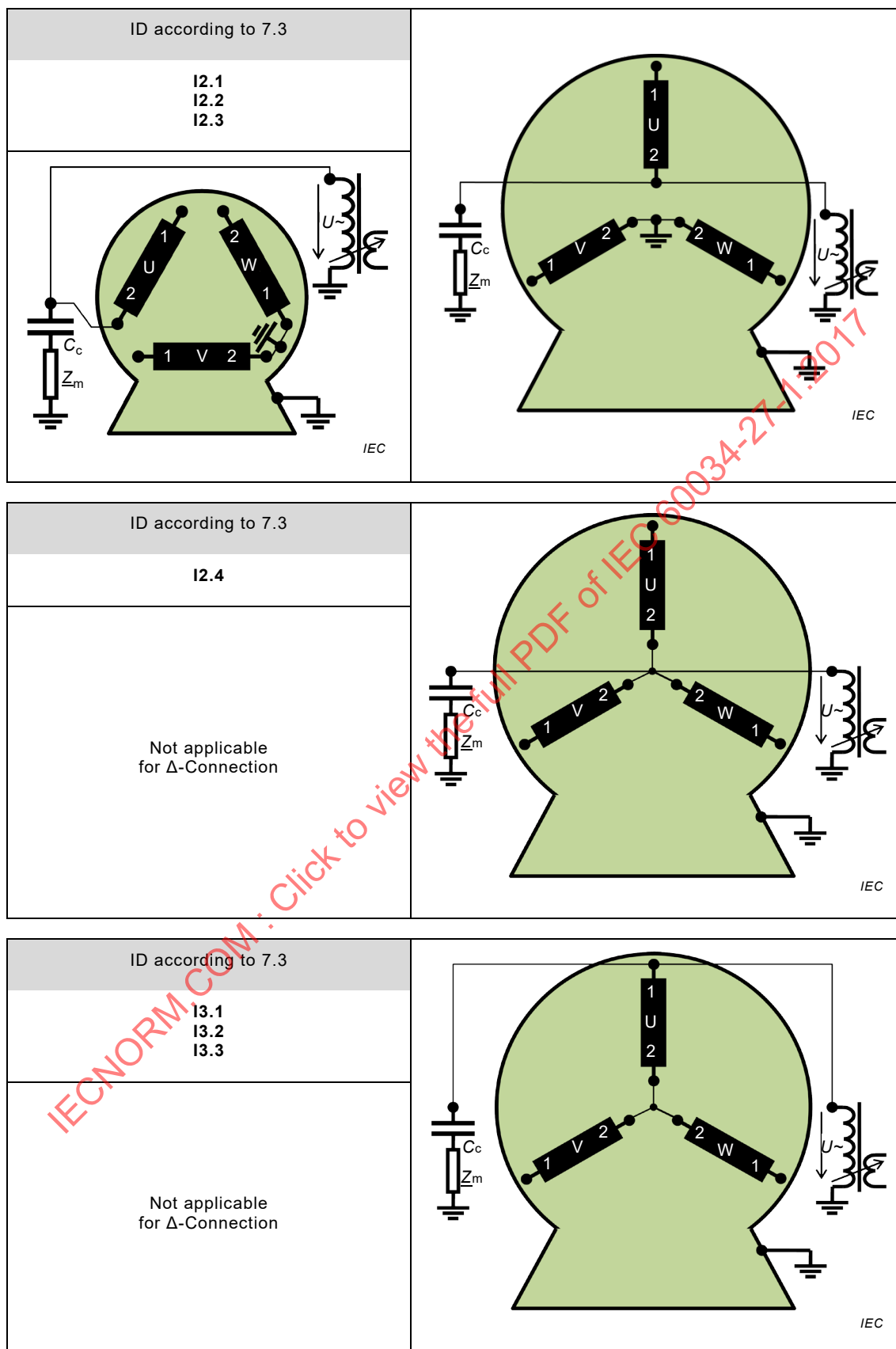


NOTE The purpose of this connection method is to use the damping along a winding to suppress noise from the power supply. By shorting all terminals of a Δ -arrangement the noise suppression cannot work.



NOTE The fixed winding connections in Δ -arrangement does not allow distinguishing between PD from phase U and phase W (in this example here). Therefore, if winding connections cannot be opened the measured PD is always the summary activity of 2 phases.



Figure G.1 – Illustrated diagrams for Y- and Δ -connections, according to 7.3

Annex H (informative)

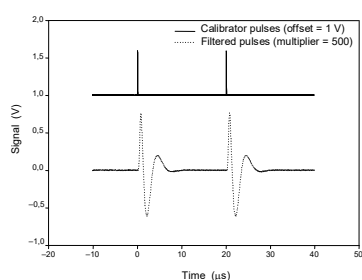
Wide-band and narrow-band measuring systems

H.1 General

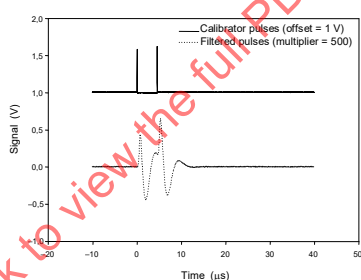
The principal difference between the various PD measuring systems is their bandwidth. The PD pulses arriving at the terminals have a frequency spectrum characterized by the transmission function of the machine winding. The measured PD signal will be affected to a greater or lesser degree depending on the bandwidth of the measuring system. Furthermore, micaceous insulation systems are characterized by a high repetition rate of PD pulses. Figure H.1 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.

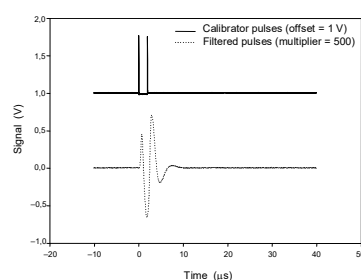
- 1) Wide band system: Δf at -3 dB: 210 kHz (2nd order-filters)



a)

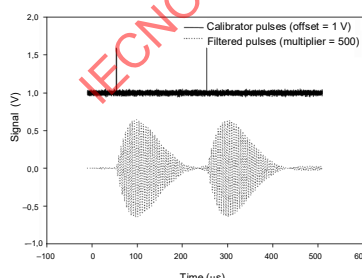


b)

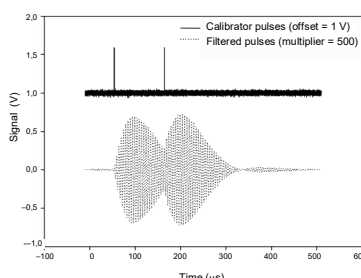


c)

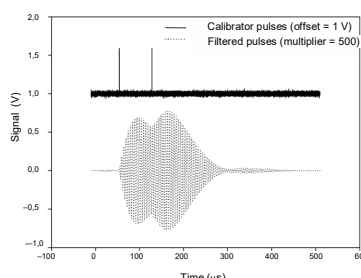
- 2) Narrow band system: Δf at -3 dB: 9 kHz (2nd order-filters)



a)



b)



c)

Figure H.1 – Typical pulse responses of wide band and narrow band PD systems

H.2 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.

Even if most of the wide band measuring instruments conform to the requirements of IEC 60270, the low limit frequency of the coupling device shall be taken into account. 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. If the frequency range of large bandwidth systems overlaps largely with IEC 60270 bandwidth, normalization, etc., is in principle possible.

H.3 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 micaceous insulation in conjunction with the long decay time of the oscillating pulses may lead to a superposition of successive discharges (see Figure H.1). Thus, the readings of the individual pulse charge and polarity may be erroneous. Consequently, narrow band measuring systems are less frequently used for taking partial discharge measurements on rotating machinery.

Bibliography

- [1] IEEE Std. 1434-2014, *IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery*, IEEE, New York, USA, (2000), ISBN 0-7381-2482-6, SH94850
 - [2] PETIT, A., *Comparison of PD amplitudes of stator bars taken with different instruments*, 2015 Electrical Insulation Conference (EIC), Seattle, Washington, USA, 7-10 June 2015
 - [3] CIGRE Technical Brochure 226, *Knowledge Rules for Partial Discharge Diagnosis in Service*
 - [4] IEEE Std. 433 (R1991), *IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Voltage at Very Low Frequency*
 - [5] IEEE Std. 43-2013, *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*
 - [6] HUDON, C.; BÉLEC, M.: *Partial Discharge Signal Interpretation for Generator Diagnostics*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, No. 2, pp. 297-319, 2005
 - [7] KAUFHOLD, M.; SCHÄFER, K.; BAUER, K.; ROSSMANN, M., *Medium and high power drive systems; Requirements and suitability proof for winding insulation systems*. 10th Insucon International Conference Birmingham, pp. 86-92, 2006
 - [8] IEEE Std 1799-2012, *IEEE Recommended Practice for Quality Control Testing of External Discharges on Stator Coils, Bars, and Windings*
 - [9] LIESE, M.; BROWN, M., *Design-Dependent Slot Discharge and Vibration Sparking on High Voltage Windings*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 15, No.4, pp. 927-932, August 2008
 - [10] IEC 60034-18-41, *Rotating electrical machines – Part 18-41: Partial discharge free electrical insulation systems (Type I) used in rotating electrical machines fed from voltage converters – Qualification and quality control tests*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-27-1:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	69
INTRODUCTION	71
1 Domaine d'application	73
2 Références normatives	74
3 Termes et définitions	74
4 Nature des DP dans les machines tournantes	76
4.1 Notions élémentaires sur les DP	76
4.2 Types de DP dans les machines tournantes	77
4.2.1 Généralités	77
4.2.2 Décharges internes	77
4.2.3 Décharges d'encoche	78
4.2.4 Décharges dans l'entrefer du chignon et décharges superficielles	79
4.2.5 Décharges de matériaux conducteurs étrangers	79
4.3 Propagation des impulsions dans les enroulements	79
5 Technologies et instrumentation de mesure	80
5.1 Généralités	80
5.2 Influence de la réponse en fréquence du système de mesure	80
5.3 Effets des ensembles de couplage des DP	80
5.4 Effet des appareils de mesure	82
6 Visualisation des mesurages	82
6.1 Généralités	82
6.2 Étendue minimale de la présentation des données de DP	82
6.3 Moyens supplémentaires de représentation des données de DP	84
6.3.1 Généralités	84
6.3.2 Patron de décharges partielles	84
7 Circuits d'essai	85
7.1 Généralités	85
7.2 Composants individuels d'enroulements	86
7.3 Enroulements complets	87
7.3.1 Généralités	87
7.3.2 Mesurages normalisés (SX.X)	88
7.3.3 Mesurages étendus facultatifs (EX.X)	89
7.3.4 Utilisation d'un équipement d'essai intégré (IX.X)	90
8 Normalisation des mesurages	91
8.1 Généralités	91
8.2 Composants individuels d'enroulements	92
8.3 Enroulements complets	92
9 Procédures d'essai	94
9.1 Réalisation de mesurages de DP au niveau des enroulements et des composants d'enroulements	94
9.1.1 Généralités	94
9.1.2 Équipement d'essai et exigences de sécurité	94
9.1.3 Préparation des éprouvettes	94
9.1.4 Conditionnement	95
9.1.5 Tensions d'essai	95

9.1.6	Procédure d'essai de DP	96
9.2	Identification et localisation de la source de décharges partielles.....	98
10	Interprétation des résultats d'essai	99
10.1	Généralités	99
10.2	Interprétation de l'amplitude des DP, et de la tension d'apparition et d'extinction	100
10.2.1	Interprétation fondamentale	100
10.2.2	Évolution dans la durée des DP au niveau d'une machine	101
10.2.3	Comparaisons entre composants d'enroulements ou entre enroulements	101
10.3	Identification des patrons de DP	102
10.3.1	Généralités	102
10.3.2	Interprétation fondamentale	102
11	Rapport d'essai	104
Annexe A (informative)	Paramètres d'influence de la fréquence d'essai sur la procédure d'essai	106
Annexe B (informative)	Autres méthodes de détermination des amplitudes de décharges	107
B.1	Q_m , selon la définition 3.14.....	107
B.2	Amplitude des DP répétitives cumulées Q_r	109
Annexe C (informative)	Autres méthodes à l'arrêt applicables à la détection des DP et méthodes de localisation	111
Annexe D (informative)	Bruit d'origine externe, perturbations et sensibilité	113
D.1	Généralités	113
D.2	Sensibilité	113
D.3	Bruit et rapport signal/bruit.....	115
D.4	Perturbations	115
Annexe E (informative)	Méthodes de suppression des perturbations.....	116
E.1	Limitation de la plage de fréquences.....	116
E.2	Masquage des fenêtres de phase	116
E.3	Masquage par déclenchement du signal de bruit.....	116
E.4	Détection du signal de bruit par mesure du temps de propagation.....	116
E.5	Méthode de la différence des signaux à deux canaux.....	117
E.6	Suppression des signaux d'ondes entretenues (CW – <i>constant wave</i>) par filtrage numérique	118
E.7	Élimination du bruit et des perturbations au moyen de techniques de traitement des signaux.....	118
Annexe F (informative)	Interprétation des données d'amplitude des DP et des patrons de DP résolus en phase.....	121
F.1	Instructions pour l'interprétation des patrons de DPRP	121
F.1.1	Exemple de patrons de DPRP.....	121
F.1.2	Sévérité relative de différents mécanismes de DP	123
F.1.3	Interprétation des mesurages des DP entre le côté réseau et le montage en étoile	124
F.1.4	Décharges inductives / étincelles dues aux vibrations.....	125
Annexe G (informative)	Circuits d'essai pour enroulements complets.....	126
G.1	Généralités	126
G.2	Schémas et représentations (voir Figure G.1)	126
Annexe H (Informative)	Systèmes de mesure à large bande et à bande étroite	131
H.1	Généralités	131

H.2	Systèmes à large bande.....	132
H.3	Systèmes à bande étroite	132
	Bibliographie.....	133

Figure 1	– Réponse en fréquence d'une impulsion de DP et ensembles de couplage de différentes constantes de temps	81
Figure 2	– Amplitude des DP en fonction de la tension d'essai normalisée $Q=f(U/U_{\max})$	83
Figure 3	– Exemple de patron DPRP.....	85
Figure 4	– Circuits d'essai de base conformes à l'IEC 60270	87
Figure 5	– Circuit d'essai destiné au mesurage des DP (S1.1) sur des enroulements complets	88
Figure 6	– Normalisation du circuit d'essai pour le mesurage S1.1	93
Figure 7	– Tension d'essai appliquée à l'éprouvette lors du mesurage de DP.....	96
Figure 8	– Exemple pour l'identification et la localisation de sources de DP.....	103
Figure B.1	– Exemple d'indication de l'effet de polarité	108
Figure B.2	– Effet de l'exactitude de conversion A/N et calcul de Q_r (Exemple).....	110
Figure D.1	– Mise en charge de l'éprouvette par différentes composantes de courant.....	114
Figure E.1	– Sans masquage de fenêtre	116
Figure E.2	– Avec masquage de fenêtre	116
Figure E.3	– Courants d'impulsion à travers le circuit de mesure	117
Figure E.4	– Exemple d'élimination du bruit	119
Figure E.5	– Exemple d'élimination de la diaphonie	120
Figure F.1	– Exemple de patrons de DPRP.....	122
Figure G.1	– Schémas des connexions Y et Δ , selon 7.3.....	130
Figure H.1	– Réponses impulsionnelles types de systèmes de mesure de DP à large bande et à bande étroite	131
Tableau 1	– Configuration de connexion S1 pour un montage en étoile ouvert.....	88
Tableau 2	– Configuration de connexion S2 pour un montage en étoile fermé.....	89
Tableau 3	– Configuration de connexion E1 pour un montage en étoile ouvert.....	89
Tableau 4	– Configuration de connexion E2 pour un montage en étoile fermé.....	90
Tableau 5	– Configuration de connexion I1 pour un équipement intégré et un montage en étoile ouvert, mesurage côté haute tension	90
Tableau 6	– Configuration de connexion I2 pour un équipement intégré et un montage en étoile ouvert, mesurage côté montage en étoile	91
Tableau 7	– Configuration de connexion I3 pour un équipement intégré et un montage en étoile fermé.....	91
Tableau A.1	– Temps de mesure minimal recommandé et vitesses de rotation maximales	106
Tableau F.1	– Sévérité associée aux sources principales de DP dans les machines tournantes	123

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 27-1: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectués sur le système d'isolation des enroulements

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60034-27-1 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes.

Cette Norme internationale annule et remplace l'IEC TS 60034-27, publiée en 2006. Elle constitue une révision technique.

Les principales modifications techniques par rapport à l'IEC TS 60034-27:2006 sont les suivantes:

- Dans la première version, le domaine d'application n'était pas bien défini et s'ouvrait à une large gamme de fréquences de mesure. Cela a été corrigé.
- Dans la première version, la hauteur d'impulsion a été définie de différentes façons. Maintenant, 2 définitions sont données, une pour chaque méthode.

- Dans la première version, les types de DP (décharges partielles) étaient erronés. En particulier, la définition la plus critique des «décharges d'encoche» a été améliorée.
- Ajout d'un autre montage d'essai commun à l'Article 7.
- Ajout de l'annexe A.
- Ajout de l'annexe B.
- Ajout de l'annexe G.
- Déplacer une partie du texte original (valable pour les anciens instruments) vers une nouvelle Annexe H.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1877/FDIS	2/1887/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

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

NOTE Un tableau de références croisées de toutes les publications du CE 2 de l'IEC est donné sur le tableau de bord du CE 2 sur le site web de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, le mesurage des décharges partielles (DP) est utilisé comme moyen d'évaluation de la qualité des nouveaux systèmes d'isolation et de l'état des systèmes d'isolation anciens. Il est également considéré comme un moyen de détection de sources localisées de DP dans les anciens systèmes d'isolation électrique des enroulements, ces sources ayant pour origine les contraintes opérationnelles en cours de fonctionnement. Par comparaison avec d'autres essais diélectriques (par exemple, le mesurage de la tangente de l'angle de pertes ou de la résistance d'isolement), la caractéristique différenciatrice des mesurages des décharges partielles leur permet de détecter les sources de DP du système d'isolation.

En matière d'entretien courant et de révision des machines tournantes, le mesurage et l'analyse des décharges partielles peuvent également fournir des informations sur:

- les effets effectifs du vieillissement et les défauts potentiels dans le système d'isolation;
- les processus de vieillissement;
- les mesures supplémentaires à prendre et les intervalles entre les opérations de révision.

Bien que les essais de DP dans les machines tournantes soient largement admis et acceptés, plusieurs études ont démontré que non seulement des méthodes de mesure différentes existent, mais aussi que les critères et méthodes d'analyse et d'évaluation finale des données mesurées sont souvent différents et non comparables. Par conséquent, il est nécessaire de transmettre certaines recommandations aux utilisateurs qui envisagent d'utiliser les mesurages des DP pour évaluer l'état de leurs systèmes d'isolation.

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

- a) les mesurages à l'arrêt effectués avec l'enroulement statorique désaccouplé du réseau, une source d'alimentation séparée étant alors utilisée pour la mise sous tension de l'enroulement;
- b) les mesurages en fonctionnement effectués avec la machine tournante fonctionnant normalement et raccordée au réseau (IEC 60034-27-2).

Ces deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients l'une par rapport à l'autre. 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 norme internationale traite exclusivement des techniques de mesure à l'arrêt. Cette approche est considérée comme nécessaire pour faire de la présente norme un document suffisamment concis qui s'adresse aux non-spécialistes dans le domaine des essais de DP.

Limites:

Lorsque les mesurages des DP sont effectués sur les enroulements statoriques, plusieurs facteurs externes altèrent inévitablement le résultat. Par conséquent, les mesurages des DP sont comparables uniquement dans certaines conditions.

Dans une usine ou sur le site d'exploitation, le bruit influe sur les résultats des mesurages des DP à moins que des dispositions n'aient été prises pour réduire son influence. Différentes méthodes matérielles et logicielles, qui altèrent par exemple la bande de fréquences de mesure ou les algorithmes d'annulation du bruit, sont utilisées dans différents systèmes d'équipements afin de séparer les signaux de DP appropriés du bruit. Un nouveau calcul du signal mesuré de DP à une charge équivalente constitue une étape supplémentaire dépendante du mesurage et de l'appareil d'étalonnage utilisé pour la normalisation, ainsi que de la méthode employée.

Les conditions de mesure comprenant la température et l'humidité, ainsi que le montage de l'éprouvette, altèrent également le résultat des DP. Dans le cas d'un enroulement statorique, l'affaiblissement et la dispersion de l'impulsion des DP lors de la propagation dépendent de la conception réelle de l'enroulement et de l'origine de l'impulsion.

Sur la base des raisons susmentionnées, les limites absolues d'amplitude des DP en matière d'enroulements de machines tournantes, par exemple les critères d'acceptation de la production ou d'exploitation, sont difficiles à déterminer.

En outre, la gravité des détériorations et par conséquent le risque de défaut d'isolement 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 de manière significative les résultats des essais.

Il convient que les utilisateurs des mesurages des DP sachent que, du fait des principes méthodologiques, le mesurage des décharges partielles n'est pas susceptible d'identifier tous les problèmes liés au système d'isolation des enroulements statoriques (par exemple, mécanismes de défaut d'isolement non accompagnés de signaux d'impulsion du fait de l'existence de chemins conducteurs entre différents éléments de l'isolation). Les signaux d'impulsion peuvent par ailleurs ne pas être détectés dans la pratique du fait de l'influence du bruit électrique et des conditions de perturbation, qui limitent la sensibilité de détection.

Il est également difficile d'établir les limites absolues d'amplitude des DP pour les barres et bobines individuelles du fait des disparités observées entre différents équipements d'essai et montages d'essai. La version actuelle du présent document ne définit par conséquent aucune limite absolue.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 27-1: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectués sur le système d'isolation des enroulements

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60034 présente des modalités communes concernant:

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

pour les besoins des mesurages à l'arrêt des décharges partielles dans les systèmes d'isolation des enroulements des machines électriques tournantes.

Les méthodes de mesure décrites dans le présent document s'appliquent aux enroulements statoriques des machines avec ou sans revêtement d'encoches conducteur et aux enroulements statoriques des machines constitués avec des enroulements préformés ou des enroulements en vrac. Le présent document s'applique également dans des cas particuliers tels que des enroulements d'excitation rotorique haute tension. Les méthodes de mesure s'appliquent pour des essais effectués avec des tensions sinusoïdales alternatives comprises entre 0,1 Hz et 400 Hz.

Le présent document fournit des lignes directrices d'interprétation qui s'appliquent uniquement si toutes les exigences suivantes sont satisfaites:

- Mesurages effectués avec une fréquence industrielle de 50 Hz ou 60 Hz, ou lorsque les essais sont effectués avec une source d'alimentation comprise dans une plage de fréquences de 45 Hz à 65 Hz.
- Enroulements préformés et composants d'enroulement tels que des barres et des bobines.
- Enroulement avec un revêtement d'encoches conducteur. Ces exigences sont généralement valables pour les machines dont la tension assignée est supérieure ou égale à 6 kV.

Les lignes directrices d'interprétation ne s'appliquent pas aux machines avec enroulements en vrac et enroulements préformés sans revêtement d'encoches conducteur. Elles ne s'appliquent pas non plus aux essais effectués à des fréquences différentes des fréquences industrielles. Les procédures d'essai applicables aux mesurages à l'arrêt des DP spécifiés dans le présent document peuvent être utilisées pour évaluer la qualité uniforme de fabrication et/ou l'évolution de ces types d'enroulements, ainsi que les enroulements de machines entraînées par convertisseur.

NOTE L'essai des machines basse tension avec le système d'isolation appelé système de type 1 est défini à la référence [10]¹. L'IEC 60034-18-42 traite des procédures d'essai de qualification des machines haute tension entraînées par convertisseur avec des systèmes d'isolation appelés systèmes de type II (outre les essais électriques facultatifs qui y sont décrits).

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60034-18-32, *Machines électriques tournantes – Partie 18-32: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation par endurance électrique*

IEC 60034-18-42, *Machines électriques tournantes – Partie 18-42: Systèmes d'isolation électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension – Essais de qualification*

IEC TS 60034-27-2, *Rotating electrical machines – Part 27-2: On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines* (disponible en anglais seulement)

IEC 60034-27-4, *Rotating electrical machines – Part 27-4: Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation of rotating electrical machines* (disponible en anglais seulement)

IEC 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

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

IEC 60270:2000, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*
IEC 60270:2000/AMD1:2015

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

décharge partielle

DP

décharge électrique localisée dont le trajet se développe sur une partie seulement de l'isolation entre les conducteurs et qui peut ou non se produire à partir d'un conducteur

3.2

mesurage à l'arrêt

mesurage effectué alors que la machine tournante est à l'arrêt et non raccordée au réseau

Note 1 à l'article: La tension d'essai nécessaire est appliquée à l'enroulement à partir d'une source de tension distincte.

3.3

mesurage en fonctionnement

mesurage effectué alors que la machine tournante fonctionne et est raccordée au réseau

3.4

revêtement de protection anti-effluves

peinture ou ruban dont est revêtue la surface de la paroi isolante à l'extérieur de la partie encoche et dont l'objectif est d'aplanir les différences potentielles présentes à la surface des barres et bobines statoriques à haute tension

Note 1 à l'article: Le revêtement de protection anti-effluves réduit les contraintes dues au champ électrique le long de la tête de bobine 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.

3.5

revêtement d'encoches conducteur

couche de peinture ou ruban conducteur parfaitement en contact avec la paroi isolante de mise à la terre dans la partie couverte par les encoches des bobines ou des barres, souvent appelé «revêtement semi-conducteur»

Note 1 à l'article: Ce revêtement assure un contact électrique avec le paquet statorique.

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 paquet statorique mis à la terre

3.7

décharges internes

décharges qui se produisent à l'intérieur de la paroi isolante

3.8

décharges superficielles

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

3.9

distribution de l'amplitude des impulsions

nombre d'impulsions dans une série de fenêtres équidistantes d'amplitudes 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

nombre d'impulsions d'une matrice 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

Note 1 à l'article: Un autre type de représentation peut être utilisé pour l'interprétation et la séparation des sources, telle que la fréquence par rapport au temps.

3.12

dispositif de couplage

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

Note 1 à l'article: 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 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 associée à un taux de répétition des impulsions de DP de 10 impulsions par seconde (pps – *pulses per second*), qui peut être directement déduite à partir d'une distribution de l'amplitude des impulsions

Note 1 à l'article: D'autres taux de répétition peuvent être utilisés pour définir Q_m , par exemple, 50 impulsions ou 60 impulsions par seconde. Si tel est le cas, il est nécessaire d'indiquer leur utilisation, par exemple Q_{m50} ou Q_{m60} .

3.15

amplitude pondérée de la DP

Q_{iec}

amplitude pondérée enregistrée par un système de mesure dont la réponse du train d'impulsions est conforme à l'IEC 60270

Note 1 à l'article: Le présent document utilise le symbole Q comme paramètre fictif pour les deux définitions de charge, Q_m et Q_{iec} .

3.16

bruit

signaux qui ne sont clairement pas des impulsions et ne sont pas produits par l'enroulement statorique

3.17

perturbation

signaux par impulsions qui ne sont clairement pas des décharges partielles, mais peuvent avoir des caractéristiques de type DP

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 emplacements où les propriétés diélectriques des matériaux isolants sont hétérogènes. À de tels emplacements, l'intensité du champ électrique local peut être amplifiée. Les amplifications électriques locales peuvent conduire à un claquage partiel local. Ce claquage partiel ne provoque pas un claquage de l'isolation. Généralement, l'établissement des DP exige 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 du champ électrique local, avec un défaut d'homogénéité (hétérogénéité), dépasse la résistance au claquage. Ce processus peut se traduire par plusieurs impulsions de DP au cours d'une période de la tension appliquée. Dans les machines tournantes avec une isolation feuilletée, de nombreuses imperfections sont inévitables, telles que des vides de taille réduite avec une nouvelle isolation et des

décollements dans le cas d'enroulements usés. Par conséquent, une superposition des sources de DP d'intensité différente fait toujours l'objet d'un mesurage.

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

Les systèmes d'isolation des enroulements statoriques, y compris les machines de type II telles que définies dans l'IEC 60034-18-42, sont censés être soumis à une certaine activité de DP. Les systèmes d'isolation sont intrinsèquement résistants aux décharges partielles du fait de leurs composants en mica inorganique. Cependant, l'importance des DP dans ces machines est un signe généralement révélateur de la présence d'anomalies dans le système d'isolation, telles qu'un problème de fabrication ou une détérioration due au fonctionnement, plutôt qu'une cause directe de défaillance. Néanmoins, la nature de la source des DP et l'ampleur des conditions spécifiques à ce stade peuvent produire un facteur de vieillissement significatif associé à un processus de vieillissement local du système d'isolation. La durée de fonctionnement avant défaillance peut ne pas avoir de rapport avec les niveaux de DP, mais elle dépend dans une large mesure de nombreux facteurs tels que, entre autres, la température de fonctionnement, l'état des cales d'encoches, le degré de contamination, etc.

Le mesurage des DP et l'analyse de leur comportement spécifique peuvent être utilisés pour le contrôle 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

Généralement, il est prévu que les décharges partielles doivent se produire dans les systèmes d'isolation des machines tournantes à haute tension, mais leurs amplitudes, quantité et positions dépendent de la conception, des matériaux, des procédés de fabrication, de la qualité, ainsi que des conditions d'environnement et de vieillissement. Pour une conception de machine donnée, la nature des matériaux mis en œuvre, les méthodes de fabrication, les conditions de fonctionnement, etc., peuvent influencer fortement le nombre, l'emplacement, 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. Des essais de diagnostic et des contrôles visuels supplémentaires, le cas échéant, peuvent vérifier la source de DP.

4.2.2 Décharges internes

4.2.2.1 Vacuoles

Bien que les procédés de fabrication soient conçus de manière à réduire le plus possible les vacuoles, 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. Les DP constituant un phénomène normal dans le cas des machines électriques tournantes à haute tension, le mica présent dans le système d'isolation est destiné à garantir une durée de vie acceptable dans les conditions de vieillissement spécifiées. Voir aussi l'IEC 60034-18-32 pour des informations détaillées.

4.2.2.2 Décollement interne

Un décollement interne dans le système d'isolation principale peut être provoqué par une imprégnation de résine incorrecte ou un traitement thermique imparfait du système d'isolation, lors de la fabrication, ou par des contraintes mécaniques ou thermiques excessives en cours

de fonctionnement. Un décollement interne peut également se développer du fait du vieillissement du système d'isolation. Un décollement dû au vieillissement est normalement un processus à long terme. Par conséquent, un décollement du système d'isolation usé traduit un vieillissement évident. 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 peut détériorer de manière significative le système d'isolation. Le décollement réduit tout particulièrement la conductivité thermique du système d'isolation, ce qui peut conduire à une accélération du vieillissement. Par conséquent, il est nécessaire d'accorder une attention particulière au décollement lors de l'évaluation de l'activité de DP.

4.2.2.3 Désadhérence entre le conducteur isolé et la paroi isolante

Des décharges partielles de désadhérence entre les conducteurs et le matériau isolant sont générées dans des poches allongées remplies d'air ou de gaz (dans le sens longitudinal) noyées entre l'isolation principale et la pile conductrice.

Ces décharges peuvent être dues à une surchauffe ou à des forces mécaniques extrêmes qui toutes deux entraînent la séparation de grandes surfaces entre ces couches.

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. Ce phénomène peut se produire en raison d'un renforcement important du champ électrique local en présence d'impuretés du matériau de revêtement ou du fait du déplacement des barres/bobines dans la partie normale couverte par les encoches, voire au niveau de la zone extérieure adjacente aux encoches par échelons, par exemple par suite d'une perte de pression des cales due à un affaissement, une érosion ou une abrasion des matériaux, une attaque par des produits chimiques ou des défauts de fabrication. En cas de desserrement des bobines/barres, les forces électromagnétiques entraînent la vibration de la barre/bobine dans l'encoche, ce qui provoque l'abrasion du revêtement d'encoches conducteur, ainsi que de l'isolation. En cas de dommage local déjà avéré du revêtement d'encoches conducteur, les décharges partielles se produisent sous l'effet d'une amplitude d'impulsions élevée entre l'électrode métallique à la terre (partie en fer des encoches) et la surface de l'isolation principale. Ces décharges sont générées principalement au niveau de barres ou bobines soumises à des contraintes électriques élevées du côté borne de phase de l'enroulement statorique. L'activité de DP génère un vieillissement plus important par érosion de l'isolation principale. Un desserrement des bobines peut également entraîner une abrasion mécanique dans des conditions extrêmes.

L'érosion de l'isolation étant due à des décharges d'encoche sous haute tension, elle est plus importante au niveau des barres/bobines à proximité des bornes à haute tension. Par conséquent, les mesurages à l'arrêt des DP produisent une intensité de décharge partielle différente et, parfois, des patrons de DP du côté borne et neutre, en présence de décharges d'encoche.

Une vibration des barres ou des bobines dans les encoches en cours de fonctionnement, provoquée par exemple par des forces dues au champ électromagnétique et à condition que les barres et bobines ne soient plus serrées, peut constituer l'état initial d'un endommagement du revêtement de la partie couverte par les encoches. Dans certaines conditions, des étincelles dues aux vibrations peuvent se produire lors du fonctionnement de la machine. Ce phénomène est dû à l'interruption intermittente des courants entraînés provoqués par des tensions électromagnétiques. Bien que ce phénomène ne soit pas dû aux décharges partielles, il peut se produire de façon analogue lors de mesurages.

Lorsque le revêtement d'encoches conducteur est détérioré par les étincelles dues aux vibrations, celles-ci peuvent être mesurées à l'arrêt comme des décharges d'encoche. Étant donné que les étincelles dues aux vibrations sont entraînées par le champ magnétique, ce phénomène peut se produire principalement dans la partie encoche de chaque barre ou chaque bobine, du côté borne au côté neutre. Son effet peut être mesuré des deux côtés de

l'enroulement. Des mesurages comparatifs comprenant l'analyse des patrons du côté borne et du côté neutre peuvent indiquer les étincelles dues aux vibrations. Des informations de base supplémentaires sont fournies en F.1.4.

4.2.4 Décharges dans l'entrefer du chignon et décharges superficielles

Des décharges partielles peuvent se produire à plusieurs endroits dans la zone du chignon en cas de champs électriques localement élevés. De telles décharges se développent généralement aux interfaces entre différents éléments de la tête de bobine du stator. Lorsque le revêtement de protection anti-effluves du chignon perd de son efficacité en raison d'une mauvaise conception des interfaces, d'une contamination, d'une certaine 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 de l'isolation et des matériaux superficiels. Il s'agit généralement d'un mécanisme de vieillissement lent. 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 têtes de bobine, ou entre phase et terre à la surface du chignon.

4.2.5 Décharges de matériaux conducteurs étrangers

Une contamination conductrice de l'enroulement peut provoquer une forte concentration localisée de décharges partielles. Celles-ci peuvent provoquer un dommage localisé dans l'isolation. Des pièces métalliques plus grandes, telles que des boulons ou des vis cassés, ainsi que des outils oubliés de manière involontaire, peuvent s'avérer plus dangereuses. Outre la concentration locale des DP et leur effet destructeur potentiel, ce phénomène peut entraîner un effet secondaire, tel qu'un dommage mécanique immédiat ou une abrasion provoqués par l'influence du champ magnétique sur ces pièces métalliques.

Ces facteurs peuvent provoquer un dommage localisé dans l'isolation.

4.3 Propagation des impulsions dans les enroulements

À 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 de courte durée 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, il est nécessaire de tenir compte des phénomènes de propagation des impulsions de décharges partielles. 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 enregistrées aux bornes de l'enroulement, diffèrent de celles observées au point d'origine. Compte tenu de ce qui précède, les points suivants sont importants pour l'interprétation des mesurages de DP effectués sur les machines tournantes:

- 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. Par conséquent, l'énergie à la source des DP ne peut faire l'objet d'une mesure directe;
- le comportement individuel de transmission des hautes fréquences d'un enroulement statorique, selon une caractéristique de la machine soumise à l'essai et l'emplacement des sources de DP, modifie les caractéristiques d'impulsions de DP aux bornes;
- 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, peuvent ne pas être détectables aux bornes de l'éprouvette.

Par conséquent, les phénomènes susmentionnés suggèrent que la conception particulière des enroulements statoriques n'est pas la seule à influencer de manière significative les caractéristiques du signal détecté, mais que la réponse en fréquence spécifique du système de détection des DP, y compris les dispositifs de couplage, y contribue également.

5 Technologies et instrumentation de mesure

5.1 Généralités

Conformément à l'IEC 60270, le présent article traite seulement des méthodes électriques de mesure des décharges partielles, car le mesurage électrique et par conduction des décharges partielles constitue la méthode la plus communément utilisée pour l'évaluation du système d'isolation des enroulements des machines tournantes. L'Annexe C dresse la liste des autres méthodes à l'arrêt applicables à la détection des DP, ainsi que des méthodes 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 n'est 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 susceptible d'être détectée 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 utilisé, a donc un effet considérable sur la sensibilité globale du système de détection. En raison des différentes valeurs de la fréquence limite inférieure et supérieure, les relations qualitatives suivantes sont fondamentalement applicables lors des essais portant sur des enroulements complets:

- le mesurage dans la plage 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 plage de fréquences inférieure est plus exposée aux bruits et aux perturbations;
- le mesurage dans la plage des très hautes fréquences peut permettre de ne capter qu'une petite partie 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 plage 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 recommandé, lors des essais à l'arrêt, d'utiliser des systèmes de mesure de DP à large bande (tels que définis dans l'IEC 60270). Conformément à l'IEC 60270, il convient que la fréquence limite inférieure se situe dans une plage de plusieurs dizaines de kHz.

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

5.3 Effets des ensembles de couplage des DP

Pour les mesurages à l'arrêt des DP effectués sur des enroulements statoriques, et les essais de DP effectués 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 individuels d'enroulements, le dispositif de

couplage peut être aussi raccordé en série à l'éprouvette (voir Figure 4 b). Le dispositif de couplage à basse tension est raccordé au système de transmission.

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

La Figure 1 présente 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, représenté à la 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.

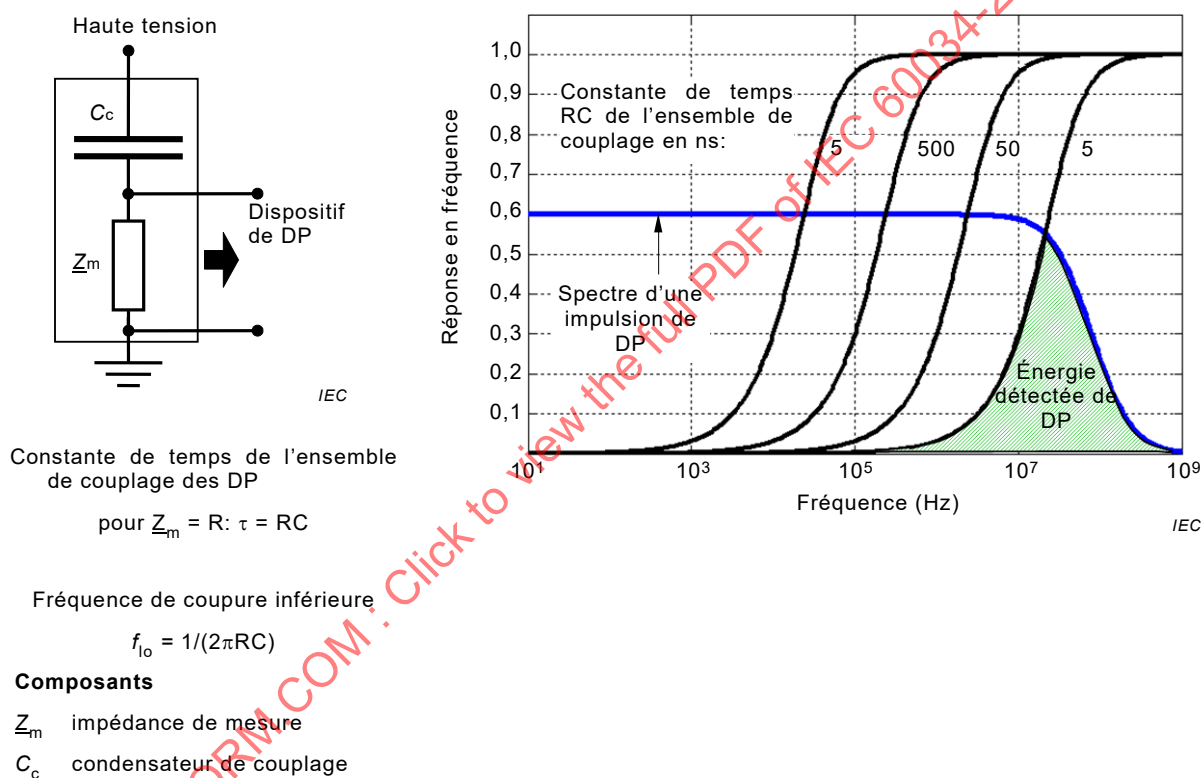


Figure 1 – Réponse en fréquence d'une impulsion de DP et ensembles de couplage de différentes constantes de temps

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 limite inférieure dans la plage de fréquences inférieure offrent généralement une sensibilité moyenne à correcte aux DP au niveau de l'enroulement.

Lorsque des mesurages sont effectués sur des composants individuels d'enroulements, le condensateur de couplage à haute tension est raccordé au conducteur en cuivre. Le dispositif de couplage peut être raccordé en série au condensateur de couplage ou, si le composant peut être isolé de la terre, placé dans le câble de connexion de mise à la terre de l'éprouvette. Pour les mesurages des DP effectués sur des enroulements complets, l'ensemble de couplage est raccordé 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 IEC 60270), dans lesquels une inductance permet de 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) raccordé 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, les dispositifs de couplage peuvent également être installés côté haute tension du condensateur.

5.4 Effet des appareils de mesure

Les premiers appareils de mesure de DP étaient tous constitués de circuits analogiques. La sortie d'un appareil analogique est une valeur scalaire qui constitue la réponse du train d'impulsions de DP aux filtres et au circuit de détection. Étant donné que les DP constituent un phénomène stochastique, cette valeur scalaire varie dans la durée. Les amplitudes de DP telles que définies dans l'IEC 60270 et dans les définitions 3.14 et 3.15 du présent document représentent deux méthodes de traitement de cette valeur.

Un traitement numérique est susceptible d'appliquer une procédure plus élaborée pour extraire un plus grand nombre d'informations du signal. Des circuits numériques peuvent être utilisés à de nombreuses phases, et avec nombre de variations parmi les systèmes du commerce. La séparation des impulsions de DP pour l'interprétation constitue le principal avantage du traitement numérique. Dans la plupart des systèmes, la séparation s'effectue en durée et en amplitude. Dans la pratique, de nombreux systèmes modernes d'obtention de DP introduisent deux réglages qui influent sur l'amplitude des DP: un seuil de déclenchement et un temps d'intégration finie. Le seuil de déclenchement a la même fonction que celle d'un oscilloscope, à savoir, empêcher le traitement de tout signal de niveau faible.

L'influence de la bande passante de filtrage de l'appareil de mesure est décrite à l'Annexe H et dans l'IEC 60270.

6 Visualisation des mesurages

6.1 Généralités

Dans la mesure où l'état du système d'isolation est soumis à évaluation, il convient que les données de DP enregistrées par l'un des dispositifs de mesure décrits à l'Article 5 fassent l'objet d'un traitement approprié. Étant donné que le degré d'érosion du système d'isolation, et par conséquent le 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 mesurées.

6.2 Étendue minimale de la présentation des données de DP

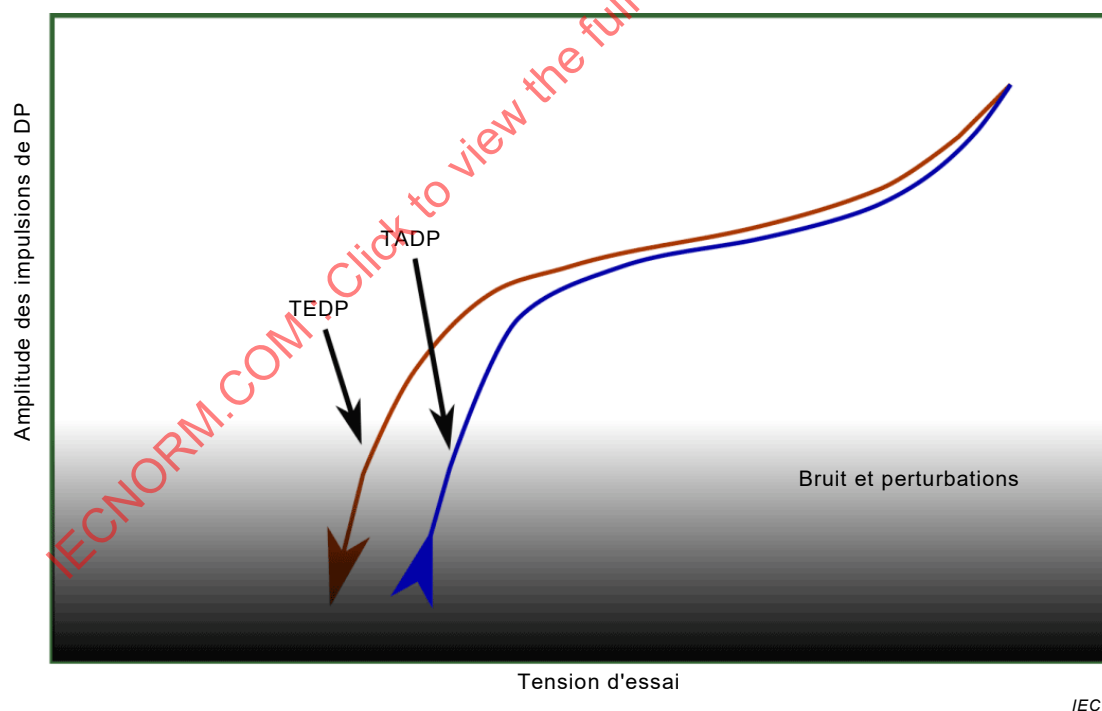
Afin d'évaluer le comportement des décharges partielles, en posant l'hypothèse d'une DP plus élevée que le bruit et les perturbations, il est exigé d'utiliser au moins les paramètres classiques de mesurage des décharges partielles, comme suit:

- l'amplitude des DP;
- la valeur efficace ou la valeur de crête/ $\sqrt{2}$ de la tension d'essai;
- la fréquence de la tension d'essai.

L'amplitude des DP, celle dont la répétition est la plus fréquente, peut être exprimée en matière de tension [mV] ou de charge apparente [pC], et évaluée conformément à l'IEC 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 , rapportée à la tension d'essai, U , appliquée à l'enroulement ou au composant d'enroulement, correspond à la fonction $Q = f(U)$ 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 par échelons choisis de manière adéquate, avant d'être réduite à la valeur minimale de la tension d'essai. En cas de disponibilité d'un patron de DP, ce dernier peut être utilisé pour exclure du signal de mesure réel le bruit et les signaux extérieurs à l'enroulement. De plus, le patron peut être utilisé pour la localisation des sources de DP.

En outre, la tension d'apparition U_i (TADP) et la tension d'extinction U_e (TEDP) des décharges partielles au niveau de l'éprouvette peuvent être déterminées, conformément à l'IEC 60270, à partir de la courbe $Q = f(U)$ donnée dans la Figure 2. Les tensions d'apparition et d'extinction dépendent d'une valeur de seuil inférieure spécifiée de l'amplitude des DP. Cette procédure est généralement applicable à l'essai d'une barre unique en atelier et à des fins de développement. Des recommandations supplémentaires permettant de définir une valeur de seuil sont données en 7.1.

La Figure 2 présente un exemple du diagramme $Q = f(U)$. Il est préférable d'affecter la tension à l'axe des abscisses et l'amplitude des DP à l'axe des ordonnées. L'axe des tensions est alors 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.



IEC

Figure 2 – Amplitude des DP en fonction de la tension d'essai normalisée $Q=f(U/U_{\max})$

6.3 Moyens supplémentaires de représentation des données de 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 du temps de mesure, et la tension instantanée associée u_i , correspond à l'instant t_i ou, pour des tensions alternatives 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 au moyen de méthodes appropriées.

Des grandeurs supplémentaires peuvent être dérivées des données de DP, telles que charge d'intégration, courant de décharge, débit quadratique, puissance des DP et énergie des DP, conformément à l'IEC 60270. Toutefois, en cas d'utilisation de systèmes numériques, les grandeurs calculées concernant les DP dépendent des réglages spécifiques de l'appareil lors des essais, par exemple, le seuil de déclenchement, etc. En utilisant des diagrammes appropriés lors de l'analyse ultérieure, il est possible de visualiser les mesurages de DP de manière à pouvoir évaluer l'état du système d'isolation. Une distribution statistique des paramètres de DP, une présentation en fonction de la phase ou du temps des paramètres de DP individuels mesurés, ou des diagrammes dits de dispersion des paramètres spécifiques peuvent être utilisés à cet effet (par exemple, distribution de l'amplitude des impulsions, distribution de phase d'impulsions, distribution de l'amplitude des impulsions résolue en phase, oscillogrammes de trains d'impulsions, représentations de la distribution des DP, etc.).

De plus amples informations sur les types de patrons de DP adéquats et les diagrammes de représentation de DP destinés à une analyse ultérieure sont fournies en [3].

6.3.2 Patron de décharges partielles

Un patron de décharges partielles peut être considéré comme une représentation de la distribution des DP dans laquelle des grandeurs spécifiques de DP sont corrélées dans le cadre d'un diagramme de dispersion afin de recueillir des informations sur les sources de l'activité de DP. Généralement, une représentation bidimensionnelle de la distribution des DP sert à la visualisation.

Pour l'identification des causes à l'origine des DP dans les systèmes d'isolation d'enroulements statoriques, le patron de DP ϕ - q - n est recommandé, l'amplitude q_i et la phase d'occurrence ϕ_i des DP étant respectivement présentées en ordonnée et en abscisse pour chaque impulsion individuelle de DP. Dans le diagramme de dispersion, il convient de visualiser la fréquence d'occurrence (n) de DP à l'intérieur de chaque fenêtre phase/amplitude en utilisant un code de couleurs approprié dont l'échelle de graduation peut être affichée sur le côté du diagramme.

Le patron ϕ - q - n est plus communément appelé patron DPRP (patron de décharges partielles résolu en phase) dans les ouvrages de référence et est utilisé à plusieurs reprises dans le présent document. La Figure 3 présente un exemple de patron DPRP.

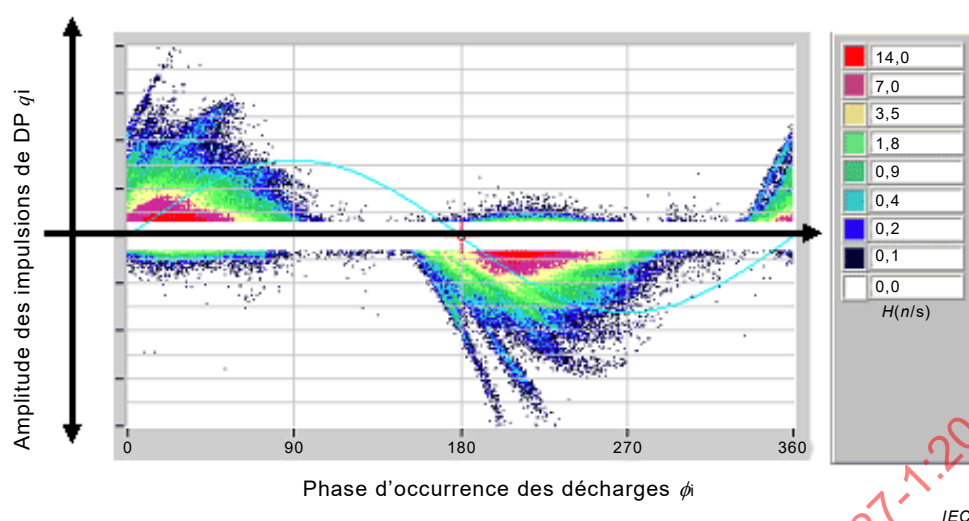


Figure 3 – Exemple de patron DPRP

7 Circuits d'essai

7.1 Généralités

La fonction essentielle d'un circuit d'essai en matière de mesurages des décharges partielles est d'établir les conditions appropriées à la détection de décharges partielles dans l'éprouvette.

Principalement, le circuit d'essai est composé des éléments suivants:

- alimentation à haute tension conforme à l'IEC 60060-1 et à l'IEC 60060-2;
- dispositif de mesure de tension;
- ensemble adéquat de couplage des DP;
- câble de connexion reliant le dispositif de mesure d'impédance et celui de DP, présentant des caractéristiques d'amortissement suffisamment faibles et disposant d'un blindage de bonne qualité;
- appareil de mesure de décharges partielles;
- connexions à haute tension.

Afin de vérifier l'absence de tout effet du circuit d'essai sur le mesurage des décharges partielles provenant de l'éprouvette, il convient tout d'abord de soumettre le montage à un essai effectué à des tensions inférieures ou égales à la tension d'essai maximale conformément à la procédure d'essai décrite en 9.1.6.

Pour des essais en laboratoire ou en usine des composants individuels d'enroulements, il convient que le niveau de bruit produit par le circuit d'essai complet à la tension d'essai maximale exigée soit inférieur au niveau d'une impulsion d'étalonnage de 100 pC. Pour permettre la variation des appareils de mesure, la limite d'acceptation peut être un facteur de 2 au-dessus du niveau de l'impulsion d'étalonnage. Le bruit de fond constitue un problème autre que les perturbations du système de mesure, voir 9.1.6.1.

Lors de l'essai d'enroulements complets, il convient que le niveau de bruit produit par le circuit d'essai complet à la tension de fonctionnement ne dépasse pas 50 % de l'amplitude maximale de DP exprimée en Q.

NOTE Les transformateurs à haute tension à compensation intégrée peuvent ne pas fonctionner sans la charge capacitive de l'enroulement.

Dans le cas où le montage d'essai n'est pas suffisamment protégé contre les perturbations pour permettre le mesurage de la faible valeur de seuil de l'amplitude spécifiée des DP, une impédance ou un filtre peuvent être placés côté haute tension entre l'éprouvette et la source d'alimentation à haute tension. Ce dispositif sert à affaiblir les perturbations générées par la source d'alimentation à haute tension, par exemple, celles dues aux DP provenant du transformateur d'essai, aux conducteurs à haute tension ou aux traversées, voire aux harmoniques supérieures de la tension d'essai se situant à l'intérieur ou à proximité de la bande passante du système de mesure. L'Annexe D et l'Annexe E fournissent des informations complémentaires sur le bruit d'origine externe, les perturbations et la sensibilité de mesure.

Il convient que l'ensemble du circuit d'essai présente une faible inductance propre. Il est essentiel d'éviter les boucles de mise à la terre. Des câbles à faible inductance sont exigés pour les connexions de mise à la terre.

7.2 Composants individuels d'enroulements

Pour les mesurages des décharges partielles au niveau des composants individuels d'enroulements (barres et bobines statoriques, etc.), il est préférable d'utiliser deux circuits d'essai fondamentaux conformes à l'IEC 60270. Ces circuits sont représentés à la Figure 4.

Le dispositif de couplage à basse tension du circuit représenté à la Figure 4a est placé sur le côté de mise à la terre du condensateur de couplage. Ce montage présente l'avantage d'être adapté aux éprouvettes disposant d'une borne de mise à la terre, l'éprouvette étant directement raccordée entre la source d'alimentation à haute tension et la terre. En cas de défaut d'isolement lors des essais, l'appareillage de mesure n'est pas exposé à de hautes tensions dangereuses.

Dans le circuit présenté à la Figure 4b, le dispositif de couplage à basse tension est placé sur le côté de mise à la terre de l'éprouvette. Par conséquent, il convient d'isoler de la terre le côté basse tension de l'éprouvette. Par comparaison avec celui présenté à la Figure 4a, ce circuit d'essai peut générer une meilleure sensibilité aux composants à faible capacité. La polarité des signaux mesurés de DP est inversée pour les Figures 4a et 4b.

Dans les deux montages d'essai, le dispositif de couplage doit être associé à un circuit de protection conçu pour résister au courant de claquage des éprouvettes susceptibles de présenter une défaillance lors des essais.

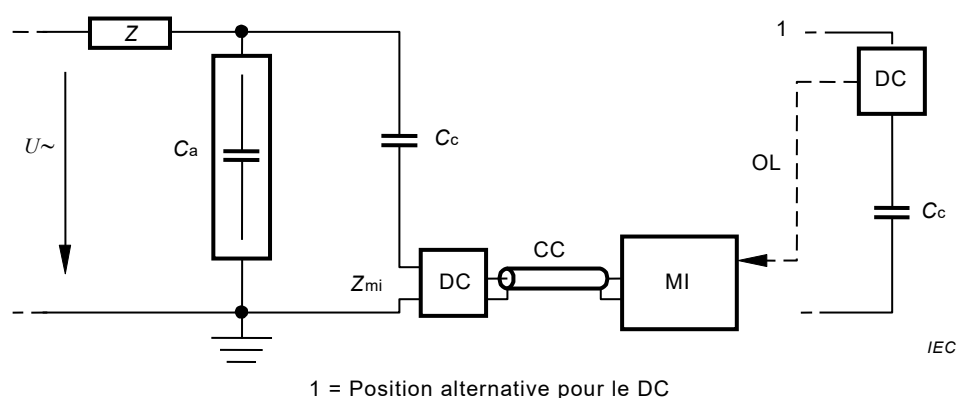


Figure 4a – Dispositif de couplage (DC) monté en série avec le condensateur de couplage

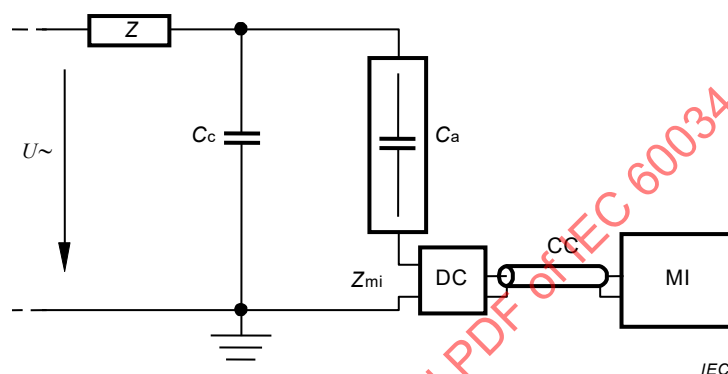


Figure 4b – Dispositif de couplage (DC) monté en série avec l'éprouvette

Composants

$U_{\sim}$	alimentation à haute tension
Z_{mi}	impédance d'entrée du système de mesure
CC	câble de connexion
OL	liaison à fibre optique
C_a	éprouvette
C_c	condensateur de couplage
DC	dispositif de couplage
MI	appareil de mesure
Z	filtre

Figure 4 – Circuits d'essai de base conformes à l'IEC 60270

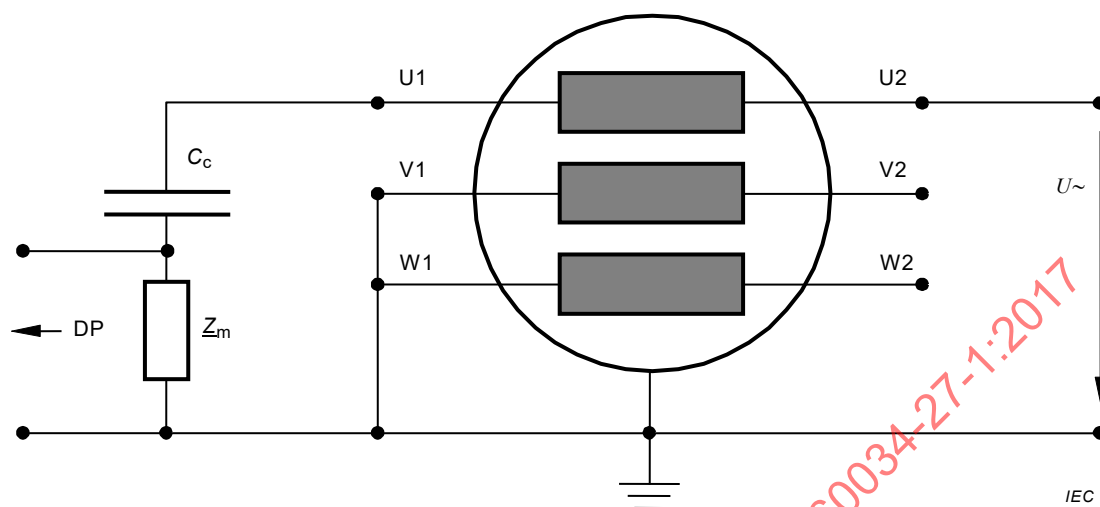
7.3 Enroulements complets

7.3.1 Généralités

Les informations qui peuvent être effectivement déduites des mesurages de décharges partielles effectués sur des enroulements à haute tension dépendent de la facilité d'accès au montage en étoile et de la méthode de connexion choisie pour le dispositif de mesure.

Dans toute la mesure du possible, il convient de raccorder la source d'alimentation à haute tension et l'ensemble de couplage des DP aux bornes opposées de l'enroulement afin de tirer profit de l'avantage offert par l'effet amortisseur de l'impédance des phases de l'enroulement pour des signaux de DP à haute fréquence, afin de supprimer les perturbations transmises par conduction et dues à l'alimentation. Il convient d'installer l'ensemble de couplage des DP le plus près possible des bornes de l'enroulement. Pour les mesurages décrits en 7.3.2, 7.3.3 et 7.3.4, le paquet statorique doit être mis à la terre.

La Figure 5 présente un circuit d'essai destiné à un mesurage des DP sur la phase U, les bornes U1, V1 et W1 correspondant aux bornes de phase à haute tension et les bornes U2, V2, W2 au niveau des montages en étoile côté enroulement.



Composants

$U_{\sim}$ alimentation à haute tension
 Z_m impédance de mesure
 C_c condensateur de couplage

Figure 5 – Circuit d'essai destiné au mesurage des DP (S1.1) sur des enroulements complets

NOTE 1 Toutes les configurations de connexion indiquées de 7.3.2 à 7.3.4 sont basées sur des machines avec des connexions Y. Certains principes de connexion peuvent également s'appliquer aux machines avec des connexions Δ .

NOTE 2 Une liste exhaustive avec schémas des configurations de connexion, donnée pour les connexions Y et Δ , est indiquée à l'Annexe G (voir Figure G.1).

7.3.2 Mesurages normalisés (SX.X)

Pour les mesurages effectués sur des enroulements avec montage en étoile ouvert, il est recommandé d'utiliser les connexions d'enroulements données dans le Tableau 1. Le Tableau 2 présente les mesurages recommandés pour les montages en étoile fermés accessibles et inaccessibles. Afin de vérifier la qualité du produit fini après fabrication et d'effectuer un mesurage de référence qui facilite une comparaison ultérieure et l'évolution des résultats des décharges partielles, il est recommandé d'effectuer les mesurages indiqués dans les Tableaux 1 et 2 sur des enroulements neufs et sur des enroulements déjà utilisés.

Tableau 1 – Configuration de connexion S1 pour un montage en étoile ouvert

Numéro d'identification	HT	Terre	C_c
S1.1	U2	V1W1	U1
S1.2	V2	U1W1	V1
S1.3	W2	U1V1	W1
S1.4	U2V2W2	-	U1V1W1

Tableau 2 – Configuration de connexion S2 pour un montage en étoile fermé

Numéro d'identification	HT	Terre	C _c
Montage en étoile accessible			
S2.1	U2V2W2	-	U1V1W1
Montage en étoile inaccessible			
S2.2	U1V1W1	-	U1V1W1

Une comparaison des résultats des mesures de S1.1 à S1.3 avec celle correspondant à S1.4, pour un montage en étoile ouvert (Tableau 1), permet la détection et la mise en évidence de sources de décharges partielles spécifiques entre deux phases de l'enroulement, par exemple dans le chignon, des décharges partielles dues à une contamination ou à des défauts de fabrication et des décharges partielles dans la partie encoche (voir 9.2).

Selon les caractéristiques de l'alimentation électrique disponible et de la capacité de l'enroulement, l'alimentation de l'ensemble de l'enroulement peut ne pas être adaptée ou même réalisable. Le mesurage S1.4 effectué sur l'enroulement complet relié à la terre, pour le montage en étoile ouvert, et indiqué dans le Tableau 1, peut alors être ignoré. En cas d'enroulements neufs et pour de petites machines, par exemple, il peut être décidé de n'effectuer que le mesurage S1.4 selon une procédure d'essai simplifiée et après fabrication, même pour le montage en étoile ouvert. Cependant, cette opération fournit moins d'informations pour des comparaisons ultérieures et l'évolution de l'état de l'enroulement. Elle ne permet en revanche d'obtenir aucune indication sur les décharges potentielles entre deux phases de l'enroulement.

7.3.3 Mesurages étendus facultatifs (EX.X)

Outre les mesurages normalisés donnés dans les Tableaux 1 et 2, d'autres mesurages étendus peuvent être effectués de manière facultative afin d'étudier plus en détail le comportement des DP dans le cadre du système d'isolation des enroulements. Les Tableaux 3 et 4 dressent une liste de ces mesurages. Ces mesurages doivent être sélectionnés de manière appropriée, lorsque les résultats des mesurages normalisés font apparaître des sources spécifiques de décharges qui nécessitent de faire l'objet d'une étude complémentaire. Quoi qu'il en soit et quel que soit le type spécifique de mesurage étendu nécessaire, la décision doit être prise à cet effet par l'opérateur ou le constructeur.

Tableau 3 – Configuration de connexion E1 pour un montage en étoile ouvert

Numéro d'identification	HT	Terre	C _c
E1.1	U1	V2W2	U2
E1.2	V1	U2W2	V2
E1.3	W1	U2V2	W2
E1.4	U1V1W1	-	U2V2W2

Tableau 4 – Configuration de connexion E2 pour un montage en étoile fermé

Numéro d'identification	HT	Terre	C _c
Montage en étoile accessible			
E2.1	U2V2W2	-	U1
E2.2	U2V2W2	-	V1
E2.3	U2V2W2	-	W1
E2.4	U1V1W1	-	U2V2W2
Montage en étoile inaccessible			
E2.5	V1	-	U1
E2.6	W1	-	V1
E2.7	U1	-	W1

En effectuant les mesurages étendus énumérés dans les Tableaux 3 et 4 en complément des mesurages normalisés indiqués dans les Tableaux 1 et 2, un plus grand nombre d'informations détaillées peuvent être obtenues sur l'emplacement spécifique des principales sources de décharges au niveau du système d'enroulements statoriques, étant donné que ces essais utilisent l'effet d'affaiblissement des impulsions lors de leur propagation à travers l'enroulement.

Dans les cas où des perturbations transmises par conduction à partir de l'alimentation peuvent être supprimées, les deux extrémités des bornes de l'enroulement, c'est-à-dire de phase et du neutre (U1U2, V1V2, W1W2), pour les mesurages S1.1 à S1.4 et S2.1, peuvent être raccordées afin d'obtenir une sensibilité égale aux défauts du système d'isolation et/ou aux défauts de fabrication de part et d'autre de l'enroulement.

7.3.4 Utilisation d'un équipement d'essai intégré (IX.X)

Bien qu'il ne s'agisse pas de la méthode de mesure recommandée des DP sur des enroulements complets – tels que définis en 7.3.2 et 7.3.3, le raccordement de la source d'alimentation HT et du dispositif de couplage de DP avec une borne identique peut s'avérer inévitable. Les raisons de cette connexion peuvent par exemple prendre la forme d'un essai de petites machines avec des boîtes à bornes de petites dimensions, ou d'une situation dans laquelle, lorsque l'appareil de mesure des DP fait partie intégrante de l'alimentation, la boîte à bornes peut ne pas permettre de raccorder la source d'alimentation HT et le condensateur de couplage C_c à différentes bornes. Tous les énoncés indiqués en 7.3.2, à l'exception du schéma de connexion, s'appliquent à ces mesurages. Par analogie avec les Tableaux 1 et 2 pour les connexions recommandées, les Tableaux 5 à 7 présentent les configurations pour ce type de dispositifs intégrés.

Tableau 5 – Configuration de connexion I1 pour un équipement intégré et un montage en étoile ouvert, mesurage côté haute tension

Numéro d'identification	HT	Terre	C _c
I1.1	U1	V1W1	U1
I1.2	V1	U1W1	V1
I1.3	W1	U1V1	W1
I1.4	U1V1W1	-	U1V1W1

Tableau 6 – Configuration de connexion I2 pour un équipement intégré et un montage en étoile ouvert, mesurage côté montage en étoile

Numéro d'identification	HT	Terre	C _c
I2.1	U2	V2W2	U2
I2.2	V2	U2W2	V2
I2.3	W2	U2V2	W2
I2.4	U2V2W2	-	U2V2W2

Tableau 7 – Configuration de connexion I3 pour un équipement intégré et un montage en étoile fermé

Numéro d'identification	HT	Terre	C _c
I3.1	U1	-	U1
I3.2	V1	-	V1
I3.3	W1	-	W1
I3.4	U1V1W1	-	U1V1W1

Il est important de noter que cette méthode de connexion de la source d'alimentation et de l'équipement de mesure à un point identique peut comprendre des perturbations de la source de tension et peut également provoquer des perturbations non désirées, telles que des effets amortisseurs sur les câbles et des réflexions, ou une plus grande sensibilité au bruit due aux effets d'antenne des câbles HT.

8 Normalisation des mesurages

8.1 Généralités

En raison de la propagation des impulsions, du phénomène de résonance et du couplage croisé mutuel dans les enroulements équipant les machines, mentionnés en 4.3, l'étalonnage n'est pas possible. Le but de la normalisation est de mettre à l'échelle les diverses influences du circuit d'essai, par exemple les moyens de connexion de l'alimentation, la capacité parasite, la capacité du dispositif de couplage et celle de l'éprouvette, en appliquant une impulsion de référence bien définie aux bornes de la machine après avoir raccordé l'ensemble du circuit d'essai. La normalisation doit assurer au système de mesure des DP une sensibilité suffisante lui permettant de mesurer correctement une valeur spécifiée d'amplitude des DP, telle qu'elle apparaît aux bornes de la machine lors du mesurage, et à indiquer que la réponse du système de détection des décharges partielles utilisé est reproductible. De plus, la normalisation du circuit d'essai facilite les comparaisons entre les mesurages effectués sur des objets présentant les mêmes caractéristiques de conception lors de la prise en compte des limites indiquées dans l'introduction du présent document. La normalisation du circuit d'essai doit être effectuée en appliquant des impulsions de courant de courte durée et d'amplitude connue au moyen d'un générateur d'impulsions de référence (calibrateur) conforme aux spécifications données dans l'IEC 60270.

Il est important de souligner les points suivants:

- la normalisation ne définit pas la fonction de transfert inconnue du signal spécifique à la machine, entre la source réelle des DP dans le système d'isolation des enroulements et l'emplacement d'installation des détecteurs, laquelle dépend généralement de l'emplacement de la source des DP et de la conception individuelle des enroulements;

- la normalisation, au moyen du générateur d'impulsions de référence non raccordé avec les câbles les plus courts possible, ou du générateur non connecté le plus près possible de la borne de la machine, peut produire des résultats incorrects, par suite d'un amortissement et d'une distorsion des signaux, par exemple du fait d'une oscillation et d'une réflexion, et en raison d'une inductance trop élevée;
- la normalisation au niveau des bornes de la machine ne représente pas de manière adéquate les impulsions de DP qui apparaissent effectivement à un emplacement inconnu de l'enroulement statorique. Par conséquent, le processus de normalisation d'un mesurage effectué sur des enroulements complets ne permet pas de fournir une mesure de la qualité du système d'isolation concernant les grandeurs absolues. En règle générale, l'hypothèse d'un niveau de DP mesuré aux bornes et inférieur au niveau au point d'origine peut être posée dans la majorité des cas;
- la normalisation ne peut pas fournir de repère de référence permettant une comparaison directe entre différentes machines.

Étant donné que les phénomènes de propagation des impulsions peuvent ne pas être pris en considération lors d'essais effectués sur des bobines, barres et autres composants individuels d'enroulements entièrement finis et qui peuvent être considérés comme des capacités localisées, la normalisation concernant l'amplitude des DP conformément à l'IEC 60270 peut également servir de base de comparaison absolue entre différents objets et fournir ainsi une mesure de la qualité, par exemple pour des essais relevant de l'assurance qualité au cours de la fabrication, du fait de la prise en compte des limites indiquées dans l'introduction du présent document.

8.2 Composants individuels d'enroulements

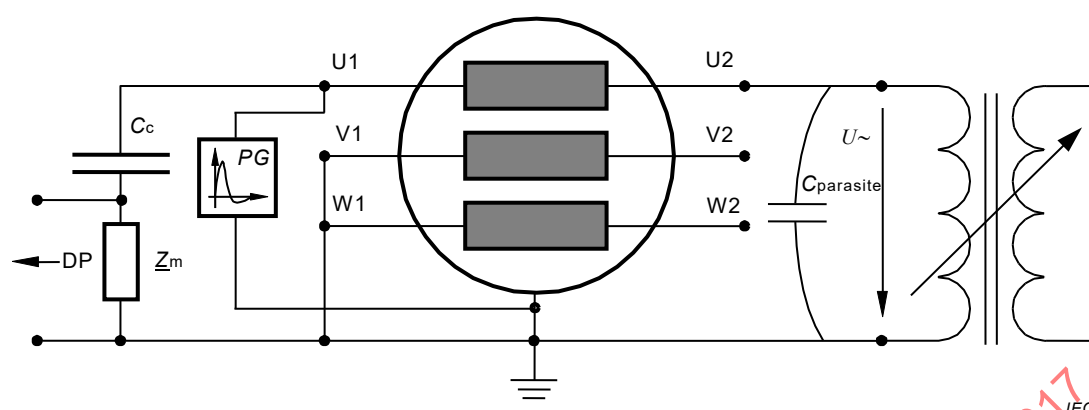
Pour les essais portant sur des composants individuels d'enroulements, la normalisation du circuit d'essai décrit en 7.2 doit être effectuée conformément à la procédure idoine définie dans l'IEC 60270, en appliquant des impulsions de courant d'une amplitude d'impulsion spécifiée, le circuit d'essai complet étant conçu pour le mesurage suivant. Cette opération est effectuée au moyen d'un générateur d'impulsions de référence raccordé entre les bornes de l'éprouvette et de l'alimentation à haute tension raccordée au montage d'essai, mais non activée.

La normalisation ne doit pas être effectuée à un facteur supérieur à 5 par rapport à l'amplitude des DP spécifiée, afin de garantir une exactitude correcte. Pour les composants individuels d'enroulements, le mesurage de l'amplitude des DP, concernant la charge apparente q (en pC) et conformément à l'IEC 60270, est recommandé.

8.3 Enroulements complets

Pour les essais portant sur des enroulements complets, la normalisation des circuits d'essai décrits en 7.3 est effectuée en appliquant des impulsions de courant d'une amplitude spécifiée aux bornes de la machine, au moyen d'un générateur d'impulsions de référence. Cette opération est destinée à simuler des impulsions de DP telles qu'elles apparaissent aux bornes de la machine lors du mesurage. Toutefois, il convient de noter que la valeur pC ou mV ne peut être utilisée pour une comparaison directe entre différentes machines.

La normalisation est en principe nécessaire pour chaque type de montage de circuit d'essai décrit en 7.3, et ce avant de commencer l'essai réel de décharges partielles. En cas de réalisation d'une séquence d'essais de DP, par exemple S1.1, S1.2 ou S1.3, au cours de laquelle la symétrie de l'enroulement triphasé peut être exploitée, la normalisation n'est nécessaire que pour le premier mesurage.



Composants

PG	Générateur d'impulsions conformément à l'IEC 60270
$U_{\sim}$	alimentation à haute tension
Z_m	impédance de mesure
C_c	condensateur de couplage
$C_{parasite}$	capacité parasite

Figure 6 – Normalisation du circuit d'essai pour le mesurage S1.1

Selon la taille de la machine individuelle en essai, une normalisation séparée de chaque phase peut être recommandée, dans la mesure où la symétrie des trois phases peut ne pas s'appliquer nécessairement pour les machines de très grandes dimensions, en raison de l'influence de la conception de la connexion circulaire du circuit.

La procédure de normalisation d'enroulements complets conformément à la Figure 6 doit être exécutée comme suit:

- le circuit d'essai est choisi conformément à 7.3, selon le type de mesurage à effectuer (voir Tableaux 1 à 7);
- tous les câbles de connexion aux bornes de phase, au dispositif de couplage des DP et à l'alimentation en tension d'essai doivent être les plus courts possible et tous les composants du circuit d'essai doivent être mis en place comme dans le montage final destiné au mesurage, l'alimentation en tension d'essai étant raccordée, mais non activée;
- le générateur d'impulsions de référence est raccordé entre la phase à soumettre à l'essai et la terre, les câbles devant être les plus courts possible afin d'éviter la distorsion du signal en raison de leur inductance. Le générateur d'impulsions de référence doit toujours être raccordé directement à la borne de phase;
- il convient de régler le générateur d'impulsions de manière à obtenir une amplitude d'impulsion appropriée dans la plage correspondante des amplitudes des impulsions prévues délivrées par l'éprouvette;
- les impulsions de référence d'amplitude constante sont mesurées par le dispositif des DP afin de déterminer un facteur d'échelle pour le mesurage suivant.

Étant donné qu'il est nécessaire de prendre en considération le montage complet de l'éprouvette, des câbles de connexion et du dispositif de mesure avec filtre et amplificateur, dans le cadre d'un système entier, la normalisation d'un circuit d'essai individuel d'enroulements statoriques complets n'est valable que pour une machine donnée et pour un système de détection déterminé. Il est important de souligner qu'une normalisation est toujours nécessaire lorsque le nouveau montage d'essai diffère de celui utilisé pour le mesurage précédent, de sorte que la symétrie de l'enroulement ne peut être exploitée.

En principe, des procédures de normalisation plus perfectionnées peuvent être exécutées, qui fournissent des informations sur l'amortissement des impulsions et les effets du couplage

croisé d'impulsions traversant l'enroulement. Cependant, ces procédures ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

9 Procédures d'essai

9.1 Réalisation de mesurages de DP au niveau des enroulements et des composants d'enroulements

9.1.1 Généralités

Les mesurages à l'arrêt des DP peuvent être effectués sur les composants individuels d'enroulements, des phases distinctes ou l'ensemble des 3 phases en parallèle. Dans le cas d'enroulements complets ou partiels, l'éprouvette doit être déconnectée de toutes les sources d'alimentation externes, de toute barre omnibus, des parafoudres, des condensateurs de surtension et des systèmes d'excitation. Dans toute la mesure du possible, le point de contact destiné à la connexion du câble d'essai doit toujours se situer le plus près possible des bornes de la machine. Il convient d'éviter d'établir tout contact avec les disjoncteurs. Lors de l'ensemble des essais ultérieurs, le circuit d'essai complet, y compris tous les composants conformément à l'Article 7, doit être monté de la même manière que celle prévue pour le mesurage initial afin de s'assurer que les mesurages peuvent être comparés. Par ailleurs, il est important de conserver toujours le même système de mesure utilisé conformément à l'Article 5 et la même procédure de normalisation appliquée conformément à l'Article 8 de manière à obtenir des résultats de mesures comparables, par exemple eu égard à leur évolution. En outre, les conditions réelles d'essai doivent être bien documentées dans le rapport d'essai, conformément à l'Article 11.

9.1.2 Équipement d'essai et exigences de sécurité

Conformément à l'Article 7, le montage d'essai, y compris par exemple, la source de tension et le câblage utilisés pour l'excitation de l'enroulement, doit être exempt de DP sur la plage des tensions d'essai applicables. La forme d'onde de la tension appliquée doit avoir une valeur $U_{pp}/U_{eff} = 2\sqrt{2}$, $\pm 5\%$ (U_{pp} est la valeur U crête à crête et U_{rms} est la valeur U quadratique moyenne). Il convient aussi que l'alimentation en tension dispose d'une puissance apparente assignée suffisante (en kVA) qui permet d'effectuer un essai selon les procédures définies en 7.3.

Les exigences de sécurité applicables de l'essai de DP à haute tension incluent, entre autres, les éléments suivants:

- le circuit doit disposer d'un relais à maximum de courant ou d'un contacteur fiable permettant de couper l'alimentation en cas de défaillance ou de contournement électrique;
- il convient que toutes les connexions à haute tension à l'éprouvette soient aussi courtes que la pratique puisse le permettre dans des conditions raisonnables. Elles doivent aussi comporter des moyens de fixation permettant d'éviter toute déconnexion involontaire au cours de l'essai. Une tige de mise à la terre doit être prévue;
- il convient de signaler clairement la zone située à proximité immédiate de l'éprouvette en l'entourant de cloisons à haute visibilité;
- il convient que deux personnes au moins assistent aux opérations de connexion et de mise sous tension.

NOTE Les règles et règlements en matière de santé et de sécurité peuvent s'appliquer pendant l'essai.

9.1.3 Préparation des éprouvettes

Avant de commencer l'essai, l'éprouvette doit être soumise à un contrôle de propreté. De plus, une distance dans l'air suffisante est nécessaire entre connexions de phase adjacentes et entre câbles internes à l'intérieur de l'enroulement. Il convient que les câbles ne se touchent pas et ne soient pas en contact avec toute surface à potentiel électrique différent.

Afin d'évaluer l'intégrité du système d'isolation de l'enroulement pour l'essai, il est recommandé de vérifier la résistance d'isolement avant de commencer l'essai de DP. Il convient que cette résistance soit généralement supérieure aux limites définies dans l'IEC 60034-27-4. Le mesurage de la résistance d'isolement permet de constater si l'enroulement est excessivement encrassé ou non, s'il est chargé d'humidité ou si le système d'isolation est défectueux.

Il convient de préparer avec soin les composants individuels d'enroulements (par exemple bobines, barres ou parties d'enroulement telles que des formettes) avant d'appliquer toute haute tension. Il convient que ces composants soient propres et secs, la protection contre l'effet couronne étant appliquée. Il convient d'éviter les accroissements de champs électriques aux extrémités des composants, tous les brins étant convenablement en contact. Le revêtement d'encoches conducteur doit être recouvert d'éléments de contact conducteurs sur toute sa longueur afin de constituer une surface équipotentielle. Un mince fil de cuivre souple, des fils toronnés, des feuilles métalliques ou des modèles d'encoches adaptés sont recommandés.

9.1.4 Conditionnement

Généralement, les DP diminuent pendant les premières minutes après l'application de la tension et un conditionnement assure ainsi un comportement plus stable des DP de l'enroulement ou du composant d'enroulement à mesurer. Par conséquent, il convient de mettre en condition l'éprouvette immédiatement avant l'essai par une excitation pendant plusieurs minutes avant de collecter les données de DP. Afin d'éviter toute contrainte excessive de l'enroulement, il convient de choisir soigneusement la tension appliquée en tenant compte de l'état de l'enroulement. Pour des enroulements de machine neufs et déjà utilisés, une période de conditionnement minimale de 5 min à la tension d'essai maximale (voir 9.1.5 et 9.1.6) est recommandée. Ce conditionnement est exigé pour réduire le plus possible la fluctuation des patrons de DP. Le conditionnement des composants individuels d'enroulements peut également être utile. Après le cycle de conditionnement, la tension peut alors être appliquée de nouveau pour commencer les mesurages des décharges partielles.

Le conditionnement de nouvelles barres et bobines individuelles peut également être effectué par l'application d'une haute tension ($> U_N$) pendant une durée plus courte. Par ce processus, le mesurage des DP peut être intégré plus aisément dans la procédure d'essai de fabrication, telle que la réalisation de l'essai de tenue à la haute tension des barres et bobines individuelles préalablement à l'essai de DP.

9.1.5 Tensions d'essai

Pour l'essai de DP, l'éprouvette est raccordée au circuit conformément à l'Article 7 et l'augmentation de la tension appliquée se produit soit selon des échelons correctement choisis (par exemple $\Delta U = 0,2 U_{\max}$) soit selon une rampe continue ($\leq 1 \text{ kV/s}$) jusqu'à la tension d'essai maximale $U_{\max}$.

En cas d'augmentation de la tension par échelons (voir Figure 7a), un temps de stabilisation d'au moins 10 s à chaque échelon est exigé (lors d'un essai avec la fréquence de réseau) afin de pouvoir consigner les paramètres de DP pertinents, y compris le patron de DP à chaque échelon de tension.

En cas d'augmentation de la tension d'essai en rampe continue (voir Figure 7b) avec la fréquence de réseau, il est nécessaire que l'alimentation électrique soit suffisamment exempte de DP lors de la régulation en tension.

Pour des enroulements et des composants d'enroulement neufs, il convient de choisir la tension d'essai maximale appliquée, $U_{\max}$, parmi les niveaux de tension suivants:

- $U_1 = U_N / \sqrt{3}$ ou tension de fonctionnement (phase-terre) du système d'isolation;

- $U_2 = 1,2 U_N / \sqrt{3}$, ou 120 % de la tension de fonctionnement (phase-terre) du système d'isolation;
- $U_3 = U_N$, ou tension assignée entre phases du système d'isolation.

Des tensions d'essai plus élevées parmi les tensions ci-dessus peuvent fournir des informations supplémentaires.

Pour des enroulements déjà utilisés, il convient que la partie chargée de la réalisation de l'essai et le propriétaire conviennent de la vitesse de rampe et de la tension d'essai maximale.

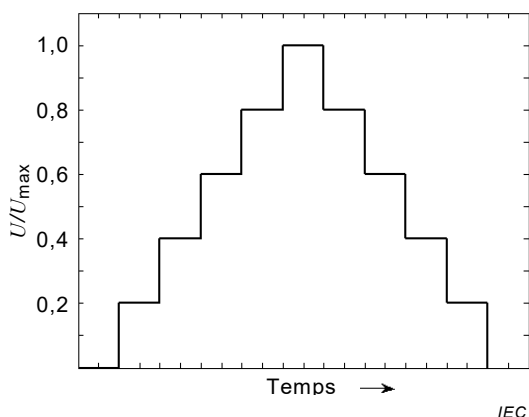


Figure 7a – Mise sous tension par montée progressive et par échelons de $U/U_{\max} = 0,2$

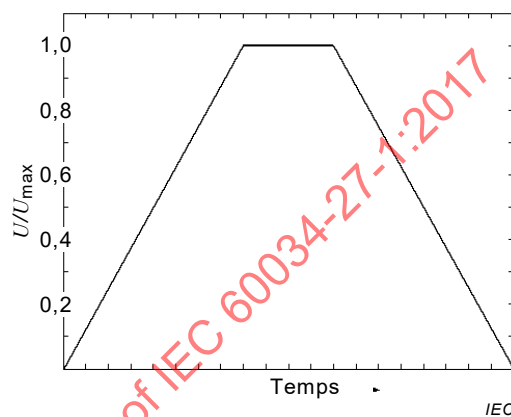


Figure 7b – Mise sous tension continue par augmentation en rampe de la tension d'essai

Figure 7 – Tension d'essai appliquée à l'éprouvette lors du mesurage de DP

9.1.6 Procédure d'essai de DP

9.1.6.1 Évaluation du bruit de fond

Conformément à l'IEC TS 60034-27-2, le bruit est défini comme représentant des signaux non émis par l'enroulement statorique ou des composants d'enroulements qui ne sont clairement pas des impulsions, tandis que les perturbations sont des impulsions électriques de durée relativement courte qui peuvent présenter nombre des caractéristiques des impulsions de DP de l'enroulement statorique – mais qui ne sont en fait pas des DP dudit enroulement.

Avant de commencer l'essai de DP, il convient d'obtenir le niveau du bruit de fond associé au dispositif de mesure afin de s'assurer que le montage d'essai présente un niveau de bruit et de décharges partielles suffisamment faible jusqu'à la limite de la tension d'essai maximale. Il convient d'effectuer cette opération avec le dispositif de mesure entièrement préparé pour l'essai, de préférence en remplaçant l'éprouvette par un condensateur approprié exempt de décharges. En l'absence d'un tel condensateur, le dispositif de mesure des DP peut être préparé en faisant fonctionner le montage d'essai complet à vide, y compris l'alimentation, l'ensemble de couplage des DP et un appareil de mesure des DP, seule l'éprouvette étant déconnectée jusqu'à la limite de la tension d'essai maximale. En cas de réalisation de l'essai à vide, il est nécessaire que le circuit d'essai fasse l'objet d'une procédure de normalisation séparée et à vide afin d'obtenir des valeurs fiables de DP. Lorsque des tensions en rampe doivent être appliquées lors des essais suivants, il convient d'effectuer l'essai à vide avec la même pente de montée en tension.

Des sources de tension variables peuvent engendrer un bruit significatif lors de la régulation en tension. Lors de l'essai par échelons progressifs, les mesurages lors de la régulation en tension doivent être évités. Des équipements adaptés doivent être utilisés pour l'essai de la montée en rampe.

9.1.6.2 Réduction des effets du bruit et des perturbations

Le bruit généré par des sources inhérentes à l'appareillage de mesure ne peut pas être éliminé en pratique, tel que par exemple le bruit thermique, conformément à l'Annexe E (bruit, perturbation et sensibilité). Les perturbations théoriquement générées par des composants externes peuvent être réduites voire éliminées par des mesures adéquates. Tout d'abord, il est nécessaire de localiser de tels signaux perturbateurs dès leur apparition et de prendre les mesures appropriées permettant de les réduire le plus possible. Généralement, les lignes directrices suivantes peuvent contribuer à optimiser les performances du dispositif de mesure:

- utiliser une combinaison éprouvée de l'ensemble de couplage des DP et de l'appareillage de mesure;
- installer l'ensemble de couplage le plus près possible de l'éprouvette afin de réduire l'amortissement entre celle-ci et le dispositif de couplage;
- raccorder l'alimentation et l'ensemble de couplage des DP aux bornes opposées de l'enroulement, conformément à l'Article 7, afin de garantir un affaiblissement des perturbations générées par l'alimentation dès leur propagation à travers l'enroulement;
- lors de l'essai d'enroulements statoriques complets, s'assurer que les câbles de tous les détecteurs de température à résistance (RTD – *resistive temperature detectors*) intégrés sont bien fixés à la carcasse statorique à la terre;
- avant tout emploi, il est recommandé de soumettre le montage d'essai à une opération de normalisation et de mesure. Selon l'emplacement et le temps de mesure, la qualité du réseau d'alimentation peut varier et/ou le transformateur peut s'encrasser de plus en plus sur des périodes plus longues. Par ailleurs, le système d'isolation du transformateur peut subir les effets du vieillissement, etc.;
- en général, la mise à la terre de l'éprouvette et du dispositif de mesure doit être correcte (grande surface de mise à la terre). Dans toute la mesure du possible, le même point de raccordement pour l'ensemble de couplage des DP, l'éprouvette et l'appareillage de mesure doit être utilisé;
- aménager le montage d'essai de la manière la plus compacte possible. Des câbles de mesure et de mise à la terre de longueur réduite et des circuits de faibles dimensions réduisent l'inductance propre ainsi que tout couplage électromagnétique à l'intérieur du circuit d'essai par effets d'antenne;
- certains câbles de mesure nécessitent une résistance d'adaptation destinée à éviter les réflexions. Pour les mêmes raisons, il convient de n'utiliser que des câbles éprouvés;
- certains appareils électroniques, par exemple, ordinateurs, écrans et dispositifs sans fil, peuvent générer des perturbations qui affectent le dispositif de mesure. Souvent, l'orientation de ces dispositifs vers une autre direction peut permettre de réduire de tels effets sur le mesurage. L'utilisation d'une cage de Faraday (dans le cas le plus simple, une cage ajourée peut être suffisante), constitue un moyen supplémentaire de réduction du bruit total. Par nature, cette méthode s'applique aux composants d'enroulements uniques;
- par ailleurs, des filtres peuvent être utilisés. Dans ce cas, le bruit peut être filtré côté basse ou haute tension du transformateur. Des filtres côté haute tension sont obligatoires pour les systèmes de résonance.

9.1.6.3 Essais de DP

Après avoir préparé entièrement le circuit de mesure des DP en vue de l'essai conformément à l'Article 7, la tension d'essai est appliquée à l'éprouvette telle que décrite en 9.1.5. À chaque échelon de tension ou lors de l'augmentation en rampe continue de la tension, les données de DP énumérées à l'Article 6 doivent être enregistrées et traitées pour pouvoir les représenter de manière appropriée. Afin de tracer la courbe $Q = f(U)$ et de représenter les tensions d'apparition (TADP) et d'extinction (TEDP) des DP conformément à l'Article 6, il convient d'effectuer le mesurage en augmentant et en diminuant ensuite la tension d'essai comme représenté à la Figure 7. Il convient d'appliquer le même taux de variation lors de l'augmentation et de la diminution de la tension.

Le calcul de Q au moyen d'appareils numériques (soit Q_m , soit Q_{iec}) exige une durée minimale de collecte et de traitement des données. La période de collecte continue de données pour le traitement des valeurs Q doit être de 5 s au moins à la fréquence industrielle. Par conséquent, le temps de maintien d'une tension stable doit être plus long, par exemple 10 s.

En cas de différence entre la fréquence d'essai et la fréquence de réseau industrielle, l'Annexe A fournit des recommandations concernant le temps de mesure.

Lorsque les valeurs correspondant aux décharges partielles, lors de l'application des tensions, sont enregistrées électroniquement dans des fichiers de valeurs mesurées, les diagrammes décrits à l'Article 6 peuvent être établis, et une évaluation ultérieure, telle que décrite à l'Article 10 peut être effectuée afin d'apprécier les résultats de mesure des DP. Il peut s'agir de la distribution des amplitudes d'impulsions, des distributions résolues en phase ou des patrons spécifiques des DPRP (voir Articles 6 et 10) à différents niveaux lors de l'augmentation et de la diminution de la tension d'essai.

Il convient de consigner toutes les remarques ou toutes les observations éventuelles faites lors de l'essai pour consultation ultérieure. Selon la machine soumise à l'essai et l'objet de celui-ci, il convient d'effectuer une séquence adéquate de mesurages types et/ou de mesurages étendus facultatifs, comme décrit à l'Article 7.

9.2 Identification et localisation de la source de décharges partielles

Le mesurage électrique des DP aux bornes de l'éprouvette permet d'évaluer l'intensité, la fréquence et la polarité des décharges, en cas d'utilisation d'appareils qui fournissent les paramètres de DP conformément à 6.3. Toutefois, afin de convertir ces paramètres en informations utiles sur l'état de l'enroulement, il est important d'identifier l'emplacement de la source des décharges partielles. Un moyen d'identification des DP consiste à recourir au patron de DPRP, si cela est possible.

A priori, l'essai de DP est effectué généralement sur des phases individuelles alors que les deux autres phases sont raccordées à la terre. Cette configuration permet d'obtenir une distribution caractéristique des DP ou un patron de DPRP pour chaque phase. Après l'essai par phase et en formulant l'hypothèse de la disponibilité d'une alimentation présentant une puissance apparente assignée (kVA) suffisante, la première méthode la plus élémentaire de détermination de l'origine des décharges, dans les conditions d'essai à l'arrêt, consiste à utiliser la source de tension d'essai pour l'excitation simultanée de l'ensemble des trois phases de l'enroulement. Dans ces conditions, l'effet du gradient de tension entre phases dans le chignon est éliminé. Si les trois phases sont toutes excitées simultanément, les décharges associées à l'activité entre phases dans le chignon sont réduites dans le patron de DP. Les décharges associées à la configuration phase-terre peuvent apparaître de façon manifeste et il convient d'en étudier soigneusement les causes. Une baisse correspondante de l'amplitude des DP et du nombre d'impulsions permet de conclure que le chignon contribue au signal obtenu lors du mesurage dans la configuration par phase. Il s'agit d'une méthode utile qui permet de distinguer les DP au niveau du chignon des décharges au niveau de l'encoche.

Afin de localiser la source d'un problème particulier, il peut être utile au processus de diagnostic de subdiviser l'enroulement dans toute la mesure du possible. Cependant, étant donné que les constructeurs de machines mettent en place des cosses de dérivation, des circuits de connexions et des câbles de raccordement à une phase de sorte que ces éléments soient en contact l'un avec l'autre, le fait de relier un circuit à la terre alors que l'autre est excité engendre une condition anormale et de hauts niveaux de décharges partielles peuvent être enregistrés.

NOTE Dans les cas nécessitant de soumettre à l'essai un enroulement subdivisé, l'acheteur et la partie chargée de la réalisation de l'essai peuvent consulter le constructeur de la machine pour connaître ses recommandations avant de commencer l'opération.

Des méthodes d'essai variées et complémentaires ont été élaborées en se fondant sur les différents effets physiques des décharges partielles. Afin de confirmer la présence ou l'absence de décharges partielles au niveau du chignon, une méthode pratique consiste, lors de ces essais, à examiner l'enroulement des deux côtés en utilisant un viseur ou un appareil de prise de vues capable de détecter un effet couronne. Les essais à l'arrêt offrent l'avantage de pouvoir réaliser de tels contrôles après avoir retiré les couvercles et le rotor, si nécessaire.

L'Annexe C dresse la liste des autres méthodes à l'arrêt applicables à la détection des DP, ainsi que des méthodes de localisation.

10 Interprétation des résultats d'essai

10.1 Généralités

Généralement, les essais de DP en usine effectués sur les enroulements et les composants d'enroulements sont destinés à assurer une qualité de fabrication homogène (telle qu'une application correcte d'un revêtement de protection anti-effluves), alors que les essais de DP sur site effectués sur les enroulements consistent à déterminer le degré de vieillissement imputable aux différents facteurs de vieillissement en cours de fonctionnement. Ainsi, l'interprétation des résultats de ces essais est la dernière étape la plus importante une fois effectués les mesurages de DP. Selon les résultats des essais, il doit être établi si ces derniers indiquent de quelque manière que ce soit la présence de défauts tout en prévoyant, dans l'affirmative, ce qu'ils impliquent concernant les performances du système d'isolation, et une décision doit être prise concernant la nécessité d'effectuer des essais complémentaires et de planifier et/ou mettre en œuvre toute opération fondamentale de maintenance corrective.

Il convient de noter que les machines prises individuellement sont généralement soumises à des profils de contraintes spécifiques en cours de fonctionnement et qu'il existe une grande variété de caractéristiques de conception, de conditions de production et plusieurs systèmes d'isolation proposés par différents constructeurs. Ces dispositions engendrent habituellement des variations significatives de l'amplitude des décharges partielles qui dépendent des propriétés individuelles de la machine soumise à l'essai. En conséquence, une comparaison directe de différents types de machines, d'enroulements et de composants d'enroulements concernant les valeurs absolues n'est pas possible.

Il est également impossible d'établir des limites absolues pour des enroulements complets, par exemple, sous forme de critères d'acceptation à appliquer en cours de production ou en fonctionnement. Par conséquent, le présent document n'établit aucune limite spécifique qui peut être appliquée à l'évaluation de la qualité. De façon analogue, la grande diversité des caractéristiques des appareils d'essai de DP rend difficile la fixation de limites absolues pour les DP dans le cas de nouvelles bobines et barres.

Pour une meilleure interprétation des données d'essai de DP obtenues avec des enroulements statoriques complets, il convient d'examiner soigneusement les résultats consignés dans des rapports de contrôles antérieurs, par exemple par suite de contrôles visuels, et d'en tenir compte lors de l'évaluation de l'état de ces composants.

Le revêtement de protection anti-effluves de la tête de bobine dépend non seulement du champ, mais également de la fréquence. Plus la fréquence est élevée, plus les longueurs effectives de répartition de la surface d'enroulement sont courtes. Ce phénomène peut provoquer des DP supplémentaires au niveau de la partie recouvrante du revêtement d'encoches conducteur et du revêtement de protection anti-effluves. Des fréquences inférieures, par exemple des fréquences TBF, rendent plus linéaire la répartition des champs sur ce revêtement de protection anti-effluves, ce qui contribue également à l'augmentation des longueurs effectives de répartition, rapprochant ainsi le potentiel de terre de la structure d'appui. Des décharges partielles supplémentaires peuvent également être produites dans cette zone.

10.2 Interprétation de l'amplitude des DP, et de la tension d'apparition et d'extinction

10.2.1 Interprétation fondamentale

Le résultat fondamental permettant l'interprétation de tout essai à l'arrêt de DP effectué sur les enroulements et composants d'enroulements est celui qui concerne l'amplitude des DP dont la répétition est la plus fréquente, désignée par Q_m ou Q_{iec} , mesurée à une tension d'essai croissante et décroissante, conformément à 6.2. De plus, la tension d'apparition des DP (TADP) et la tension d'extinction des DP (TEDP) peuvent être enregistrées.

Même si l'emplacement d'apparition des DP qui engendre la plus forte amplitude ne se situe pas nécessairement au niveau de l'enroulement présentant le plus grand risque, la détection et l'interprétation de l'amplitude des DP en fonction de la tension d'essai fournissent un moyen simple, mais réfutable de détermination des caractéristiques des principales sources typiques des décharges partielles. Une méthode d'interprétation plus efficace consiste à évaluer l'identification des patrons de DP résolus en phase comme décrit en 10.3. L'Annexe F fournit des exemples et un plus grand nombre d'informations détaillées concernant l'identification des patrons et l'évaluation de l'état sur la base des DP.

Pour des enroulements statoriques complets, des barres ou des bobines, l'interprétation est toujours d'ordre comparatif. En d'autres termes, il n'est généralement pas possible de spécifier un niveau acceptable de Q , ou un niveau de Q présentant un risque élevé de défaut d'isolement. Cela concerne les raisons décrites dans l'introduction du présent document, ainsi que le fait que les DP ne sont souvent qu'un signe révélateur du processus de défaillance, et non une cause directe. Les méthodes décrites ci-dessous permettent une interprétation simple, mais réfutable dans le cas d'enroulements complets. Pour une interprétation plus complète, l'identification des patrons de DP qui vise à déterminer la source des décharges est recommandée.

- évolution de Q observée dans le temps sur le même stator, en utilisant la même méthode et le même équipement d'essai, ainsi que les mêmes caractéristiques techniques;
- comparaison de Q réalisée entre plusieurs stators de même conception, en utilisant la même méthode et le même équipement d'essai, ainsi que les mêmes caractéristiques techniques;
- comparaison de Q réalisée entre différentes phases d'un seul stator, en utilisant la même méthode et le même équipement d'essai, ainsi que les mêmes caractéristiques techniques.

Les résultats des DP obtenus avec des bobines ou des barres individuelles peuvent être mesurés en pC, et les amplitudes de DP sont comparables lors de l'utilisation du même appareillage d'essai, ainsi que des mêmes montages de circuits d'essai et réglages d'appareils dans des conditions ambiantes parfaitement maîtrisées. Une comparaison quantitative correcte entre les mesurages de DP peut être réalisée si le même type de générateur d'impulsions de référence, le même câble de connexion (concernant le type et la longueur) et le même emplacement d'impulsions de référence sont choisis. Ce choix permet une comparaison des amplitudes de DP entre différentes bobines ou barres lors de la prise en compte également des limites indiquées dans l'introduction du présent document.

Les enroulements et composants d'enroulements de machines à haute tension, qui comportent normalement des systèmes d'isolation en mica qui peuvent résister aux DP sont par nature non exempts de vides qui permettent les DP. Il peut alors être souhaitable d'avoir une TADP et une TEDP plus élevées susceptibles d'indiquer la présence de vides de grandes dimensions moins nombreux dans le système d'isolation des enroulements statoriques. Il convient toutefois de n'émettre aucun jugement seulement sur la base de la TADP et de la TEDP tant que l'évaluation du système d'isolation n'implique pas l'utilisation de techniques de diagnostic supplémentaires. Cette situation est contraire à celles des systèmes exempts de DP dans lesquels la TADP et la TEDP sont des valeurs éprouvées pour l'évaluation du caractère approprié d'un bien.

Sur des composants individuels d'enroulements, les tensions d'apparition et d'extinction de décharges partielles, respectivement TADP et TEDP, sont mesurées, avec un bruit de fond maximal spécifié en pC.

10.2.2 Évolution dans la durée des DP au niveau d'une machine

Il s'agit d'un moyen probant d'interprétation des données de DP concernant les enroulements statoriques complets, quelle que soit la méthode de détection utilisée. Il convient tout d'abord d'obtenir une signature initiale de l'activité de DP à l'arrêt. Cette signature initiale est meilleure lorsque l'enroulement est neuf. En cas de détérioration de l'enroulement due au fonctionnement en service, Q croît alors généralement dans la durée. Par exemple, l'augmentation notable de Q dans la durée peut être un signe révélateur de l'occurrence d'une détérioration importante. Des essais à l'arrêt supplémentaires, la détermination de l'emplacement des DP au moyen des méthodes décrites dans l'Annexe C et un contrôle visuel de l'enroulement peuvent alors être garantis dans un délai raisonnable.

Des mesurages de cette signature effectués sur site constituent la meilleure méthode d'évolution et de comparaison, ces mesurages étant réalisés ainsi dans le bon environnement, avec l'équipement de mesure et la méthode à appliquer à l'avenir. Pour garantir une comparabilité correcte entre des mesurages de DP effectués de manière périodique, il convient que des conditions telles la température et l'humidité soient au moins analogues.

Une certaine prudence doit être envisagée en matière d'évolution des DP dans la durée:

- un stator neuf peut connaître une activité de DP relativement importante qui décroît généralement après la première période de fonctionnement, par exemple en raison d'un traitement thermique ultérieur;
- pour que l'évolution soit significative, il convient que les courbes de tendance n'affichent que les données recueillies à la même tension et à la même température, dans des conditions d'humidité analogues, et en utilisant le même détecteur de DP. Dans toute la mesure du possible, il convient qu'entre les essais, la tension d'essai varie dans la limite de $\pm 2,5 \%$ et que la température de l'éprouvette varie dans une plage de $\pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- pour les machines à refroidissement par hydrogène, une valeur de diagnostic supplémentaire est prévue pour effectuer le mesurage dans les conditions atmosphériques. Dans tous les cas, l'évolution des essais doit être réalisée dans les mêmes conditions atmosphériques. Pour l'interprétation des résultats de DP relevés dans les conditions atmosphériques, il convient de tenir compte de la conception de l'espacement des chignons;
- les variations de Q selon un certain pourcentage, par exemple, $\pm 25 \%$, sont normales en raison des variations inévitables des conditions d'essai et plus ou moins du comportement statistique des processus de DP.

En cas d'évolution importante dans la durée ou lorsque les valeurs lues individuelles varient de manière significative en comparaison, les données de DP peuvent alors faire l'objet d'une analyse complémentaire afin de déterminer la cause probable d'une activité de DP importante. Dans ce cas, l'identification des sources de DP met à profit l'analyse des patrons de DP résolus en phase (Figure 3), conformément à 10.3.

10.2.3 Comparaisons entre composants d'enroulements ou entre enroulements

Un autre moyen efficace permettant de déterminer si un enroulement ou un composant d'enroulement diffère d'un autre consiste à comparer les grandeurs de DP entre des composants d'enroulements ou entre des enroulements. Différents types de comparaisons sont possibles.

a) Essais en usine relatifs à des composants d'enroulements

Des comparaisons basées sur Q peuvent être faites lorsque les mesurages sont effectués sur la même barre ou bobine de conception identique, en utilisant les mêmes

équipements, montages, méthodes et conditions d'essai que ceux présentés dans l'introduction du présent document. Si des décharges externes peuvent être exclues, les résultats obtenus à partir de ces essais peuvent être utilisés pour déterminer si un écart a été constaté au niveau du traitement ou des matériaux isolants utilisés dans le composant concerné.

b) Essais en usine relatifs à des enroulements

En confrontant les résultats de DP entre machines semblables, la comparaison la plus fiable est celle concernant des stators tous identiques, y compris du point de vue du système d'isolation, et lorsque les essais sont réalisés à la même tension et à une température et dans des conditions d'humidité similaires, conformément à 10.2.2. Les essais doivent également être effectués en utilisant le même équipement d'essai de DP qui fonctionne dans la même plage de fréquences et avec le même montage d'essai.

Lorsque le cumul de ce type de données comparables est avéré et lorsque les données établies sont suffisantes pour une évaluation statistique, l'évaluation de la qualité entre les enroulements de machine peut être effectuée compte tenu de l'amplitude de DP.

c) Essai sur site relatif à des enroulements

Des comparaisons peuvent être faites entre enroulements de même conception, produits par la même usine et présentant les mêmes caractéristiques assignées, afin d'apprécier quel enroulement peut avoir subi le plus important degré de vieillissement en service. Des enroulements avec une valeur Q plus élevée à la même tension d'essai peuvent, selon l'emplacement des sources de DP dans l'enroulement, indiquer une détérioration plus forte. Les enroulements doivent être soumis à l'essai avec le même équipement d'essai en utilisant la même plage de fréquences et en tenant compte des limites indiquées dans l'introduction du présent document.

10.3 Identification des patrons de DP

10.3.1 Généralités

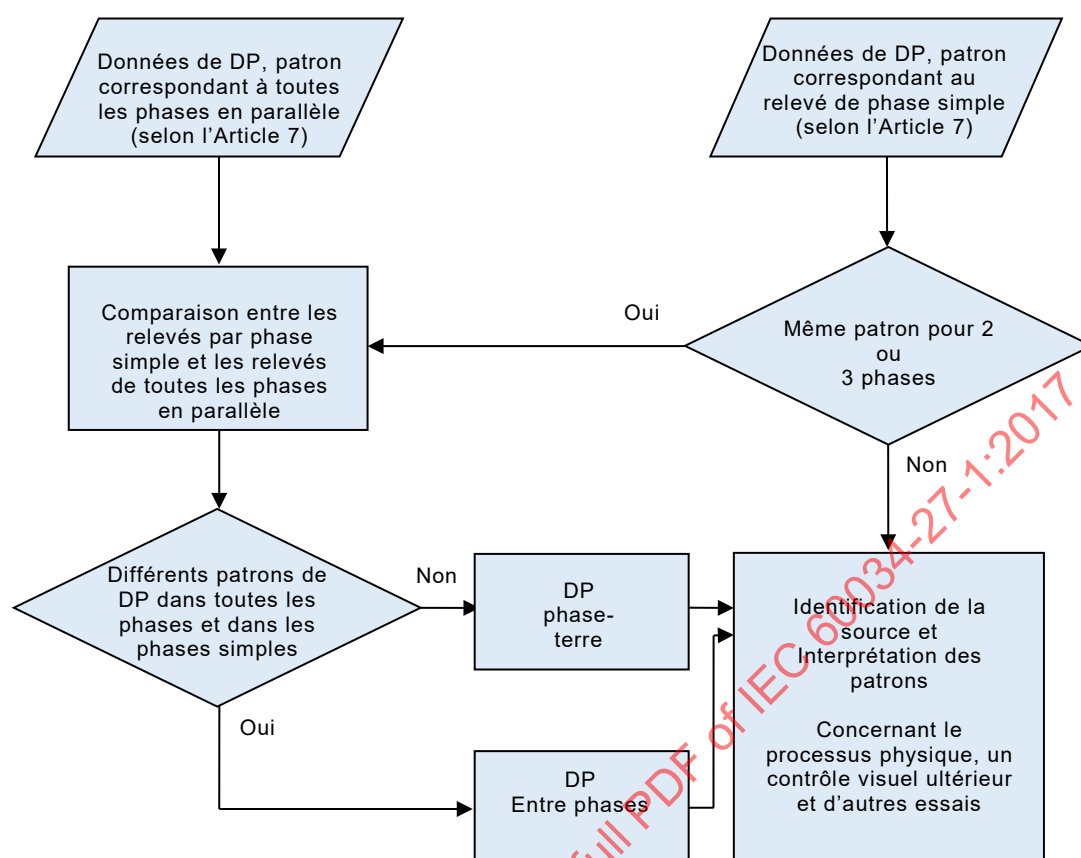
Les patrons de DPRP conformes à la Figure 3 (voir 6.3.2) représentent une méthode courante d'interprétation des mesurages de DP à l'arrêt. Étant donné que le degré de détérioration, et donc le risque de défaut d'isolement, dépend dans une large mesure du type spécifique de décharges partielles, il est primordial d'obtenir des informations sûres concernant la source de toute activité de DP, c'est-à-dire sur le type et l'emplacement possible dans l'enroulement statorique ou le composant d'enroulement.

L'utilisation des patrons DPRP peut permettre de distinguer différentes sources de DP les unes des autres afin d'évaluer le risque associé et de suivre leur évolution de manière séparée. L'identification de la source de DP et du processus physique sous-jacent permet également de pondérer leur risque séparément. Il convient d'effectuer cette opération dans la mesure où il n'existe pas de relation importante entre les amplitudes de DP et le processus de vieillissement indiqué par ces patrons de DP.

À titre d'exemple, il peut arriver que deux sous-patrons apparaissant dans une même valeur lue de DP puissent afficher des amplitudes analogues de DP: l'une ayant pour origine, par exemple, des décollements dans l'isolation principale de la partie encoche et l'autre due, par exemple, à des effets superficiels au niveau du chignon. Bien que ces deux phénomènes génèrent des DP qui peuvent afficher des amplitudes analogues, les décharges partielles par décollement dans la partie encoche, provoquées par une surchauffe, traduisent un état plus critique du système d'isolation que celui affecté par les DP superficielles dans la zone du chignon, provoquées par une contamination ou une humidité élevée.

10.3.2 Interprétation fondamentale

La Figure 8 présente une procédure fondamentale qui peut être appliquée pour l'identification et la localisation des sources types de DP dans les enroulements en utilisant des patrons de DP résolus en phase. Chaque sous-patron qui peut être séparé de la valeur lue globale des DP peut être classé de cette manière.



IEC

Figure 8 – Exemple pour l'identification et la localisation de sources de DP

Le but de l'interprétation des patrons de DP est de séparer les DP de différentes sources au niveau de l'éprouvette. Ces informations permettent (voir Annexe F):

- d'observer le comportement évolutif de chaque source de DP;
- de localiser les différents phénomènes de DP;
- de fournir des informations approximatives relatives à l'emplacement à repérer;
- d'évaluer l'état du système d'isolation selon la source et l'emplacement de décharges partielles.

Lors de l'analyse de patrons de DP résolus en phase, l'interprétation la plus pertinente peut encore une fois être effectuée:

- en suivant l'évolution dans la durée des patrons de DP au niveau du même stator, en utilisant la même méthode et le même équipement d'essai, ainsi que les mêmes caractéristiques techniques;
- en comparant les patrons de DP concernant plusieurs stators de conception identique, en utilisant la même méthode et le même équipement d'essai, ainsi que les mêmes caractéristiques techniques;
- en comparant les patrons de DP entre différentes phases d'un seul stator, en utilisant la même méthode et le même équipement d'essai, ainsi que les mêmes caractéristiques techniques.

Pour faciliter la comparaison des résultats d'essai, il convient d'utiliser une base de données adaptée portant sur les mesurages de DP. En théorie, il convient que cette base de données contienne un historique complet du comportement des DP et des informations sur le fonctionnement et la maintenance de chaque machine en essai.

En outre, il est recommandé que la base de données utilisée intègre les résultats des essais de DP qui peuvent être visualisés conformément à l'Article 6 de manière à pouvoir comparer directement des patrons de DP types à ceux issus de nouveaux mesurages. En mettant en œuvre une telle base de données, les résultats des essais de DP, exprimés conformément à l'Article 6, peuvent être attribués à des sources spécifiques de DP.

La relation spécifique entre la source de DP, son comportement typique ainsi que ses implications concernant le risque de défaut d'isolement, est généralement fondée sur l'expérience passée, vérifiée dans la pratique. En outre, la base de données peut également être utilisée pour une comparaison directe des résultats de DP avec ceux concernant les machines de conception analogue et à système d'isolation similaire et qui fournit d'autres informations utiles.

11 Rapport d'essai

Il convient que le rapport d'essai contienne toutes les données nécessaires à une analyse ultérieure des tendances, ainsi que des recommandations claires à l'attention de l'opérateur et concernant l'état de la machine.

Un exemple de données préférentielles contenues dans un rapport d'essai est présenté ci-dessous.

a) Données d'identification de la machine

- constructeur
- type et numéro de série
- année de fabrication
- enroulement d'origine/date de changement d'enroulement
- tension assignée
- courant assigné
- puissance apparente assignée
- facteur de puissance assigné
- fréquence assignée
- classe d'isolement/température d'enroulement maximale autorisée
- système d'isolation
- système de refroidissement/fluides de refroidissement du stator
 - indirectement par air/hydrogène/dioxyde de carbone
 - refroidissement direct par air/hydrogène/eau

b) Données d'identification du propriétaire

- propriétaire
- emplacement
- unité

c) Données de fonctionnement

- mode de fonctionnement (continu/intermittent)
- commandé par convertisseur
- nombre total d'heures de fonctionnement et/ou d'heures de fonctionnement équivalentes à ce jour
- nombre total de démarrages à ce jour, et le cas échéant, avec suréchauffement, à chaud et à froid
- nombre de déclenchements à ce jour
- température d'enroulement maximale et conditions
- température d'enroulement moyenne

- événements importants à ce jour
- d) Circuit d'essai et équipement
 - description du circuit d'essai selon 7.3
 - équipement d'essai utilisé
 - constructeur
 - type
 - numéro de série
 - date et numéro de certificat d'étalonnage
 - capacité électrique du condensateur de couplage (lorsqu'utilisé)
 - réglages des appareils
 - type d'équipement de normalisation utilisé
 - bande passante du système de mesure des DP
- e) Conditions d'essai
 - personne chargée de la réalisation des essais
 - date
 - température ambiante
 - température d'enroulement statorique
 - humidité relative
 - pression de l'air ambiant
 - état de la machine/enroulement statorique (milieu/pression de refroidissement normal(e) ou en milieu ouvert dans les conditions ambiantes)
 - fréquence de la tension d'essai appliquée, si non identique à la fréquence assignée
- f) Résultats d'essai
 - résistance d'isolement
 - réglages des appareils
 - niveaux de tension d'essai / vitesse de rampe
 - oscillogramme de tension d'essai, le cas échéant
 - processus de conditionnement
 - facteur de normalisation/étalonnage (par connexion, le cas échéant)
 - niveau de bruit
 - sources de perturbations ambiantes, si elles sont connues
 - $Q = f(U)$ et indication du calcul des amplitudes de DP, si Q_m ou Q_{iec}
 - distribution du nombre de décharges résolue en phase, le cas échéant
 - distribution de l'amplitude des impulsions résolue en phase, le cas échéant
 - patrons de décharges partielles résolus en phase, le cas échéant
- g) Diagnostic et recommandations
 - fondés sur:
 - les résultats des mesurages
 - une comparaison avec des mesurages précédents, le cas échéant
 - une base de données ou des patrons de référence, le cas échéant
 - les observations faites lors du mesurage

Il est recommandé d'enregistrer les résultats des mesures sous le format de données d'origine pour consultation ultérieure.

Annexe A (informative)

Paramètres d'influence de la fréquence d'essai sur la procédure d'essai

Il est plus pratique d'effectuer la majorité des essais à une fréquence de réseau industrielle de 50 Hz ou 60 Hz. Les informations concernant le comportement au vieillissement et les phénomènes de DP sont parfaitement documentées pour ces fréquences. Lors de l'utilisation d'un système d'essai de résonance à des fréquences différentes, voire de plusieurs systèmes pour un essai effectué à des fréquences inférieures, par exemple 0,1 Hz, il est nécessaire d'adapter les essais décrits en 9.1.5 à cette opération.

Étant donné la corrélation avérée entre la fréquence d'essai et le taux de répétition des décharges partielles [7], le temps de maintien lors de l'essai de tensions par échelons doit être augmenté et la vitesse de rotation lors de l'essai de la montée en rampe doit être réduite pour l'essai à TBF afin de capturer un taux de répétition significatif des événements de DP. Lors de la prise en compte ultérieure de la dépendance à la fréquence linéaire indiquée, la durée d'essai à une TBF destinée à obtenir un nombre identique de décharges partielles augmente à un niveau tel qu'un essai devient irréalisable.

Les temps de maintien et les vitesses de rotation suivants sont proposés afin de réduire l'effort d'essai par rapport à des durées adaptées (voir Tableau A.1):

**Tableau A.1 – Temps de mesure minimal recommandé
et vitesses de rotation maximales**

Fréquence d'essai	Hz	400	50/60	10	5	1	0,5	0,1
Temps de mesure minimum	s	10	10	20	25	50	60	100
Nombre minimum de cycles	-	4 000	500/ 600	200	125	50	30	10
Vitesse de rotation maximale, production de $\dot{Q} = f(U)$	V/s	1 000	1 000	200	100	30	20	10

NOTE En règle générale, les phénomènes de DP tels que la TADP, peuvent dépendre de la fréquence. Par conséquent, les résultats obtenus à des fréquences différentes peuvent ne pas être comparables. Les résultats d'essai obtenus avec des fréquences autres que la fréquence de fonctionnement peuvent ne pas refléter le comportement en cours de fonctionnement.

Il n'est pas recommandé d'effectuer des mesurages pendant des durées nettement plus courtes, en raison de la probabilité élevée d'une surveillance des sources de décharges sporadiques. D'autre part, lorsqu'il s'agit de prendre en compte le fait que la plupart des méthodes de visualisation de DP sont basées sur une référence de phase telle qu'un passage par zéro, un temps de mesure trop long n'est également pas recommandé. La fluctuation des fréquences ou une détection erronée des passages par zéro fait par exemple apparaître les patrons de DPRP plus flous.

Lors de la production de valeurs caractéristiques issues d'une chaîne de mesure, telles que des valeurs de charge comme $\dot{Q}$, la fréquence de mesure ou le nombre de cycles influe sur le résultat de manière significative. L'application, par exemple, de la valeur $\dot{Q}_m$ définie comme l'amplitude à laquelle les DP se répètent 10 fois par seconde ou plus à la fréquence industrielle, génère un nombre comparable de cycles et par conséquent de décharges se produisant avec des temps plus longs ou plus courts. Par exemple, un mesurage effectué avec un transformateur de résonance fonctionnant à une fréquence de 30 Hz comporte un nombre de cycles par seconde réduit de moitié, de sorte que la valeur $\dot{Q}_m$ à 30 Hz doit être définie comme la valeur à laquelle 10 impulsions se produisent toutes les 2 s – ou inversement pour les mesurages effectués à des fréquences plus élevées.

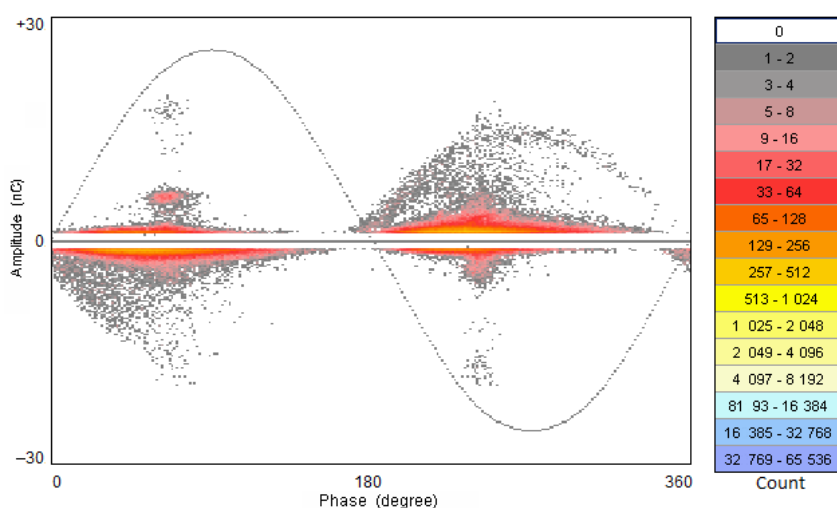
Annexe B (informative)

Autres méthodes de détermination des amplitudes de décharges

B.1 Q_m , selon la définition 3.14

Selon la définition 3.14, Q_m est définie comme l'amplitude associée à un taux de répétition des impulsions de DP de 10 impulsions par seconde (pps), qui peut être directement déduite à partir d'une distribution de l'amplitude des impulsions. Pour une référence à la valeur à la polarité donnée, par exemple pour indiquer la prédominance de polarité, le suffixe du signe de polarité est ajouté de manière à obtenir Q_{m+} et Q_{m-} . Pour des distributions de l'amplitude des impulsions différentes, Q_m peut être identique, tandis que Q_{m+} ou Q_{m-} peut être différente. La Figure B.1 présente un exemple de ce type de situation.

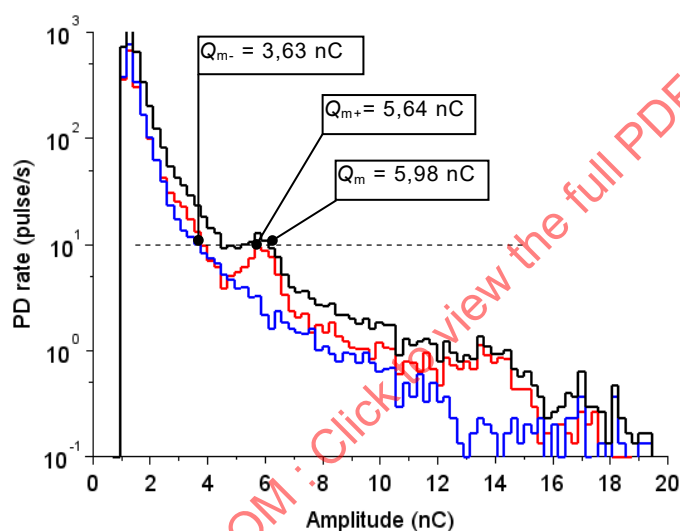
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-27-1:2017



Le patron de décharges partielles résolu en phase représenté à la Figure B.1a présente une polarité dissymétrique et des amplitudes de décharges plus élevées avec le demi-cycle négatif.

IEC

Figure B.1a – Équivalence de capacité de la Figure D.1a



La distribution de l'amplitude des impulsions de ce patron, représentée à la Figure B.1b, indique que les impulsions positives en rouge sont plus fréquentes avec les amplitudes les plus élevées que les impulsions négatives en bleu. En raison de la mise à l'échelle logarithmique de l'axe du nombre d'impulsions, l'amplitude globale des DP Q_{m+} est quasi-identique à Q_m dans cet exemple.

La courbe noire correspond à la valeur absolue des impulsions de DP. La courbe croise le taux d'impulsions de 10 pps à une amplitude plus élevée.

IEC

Figure B.1b – Équivalence de capacité de la Figure D.1a

Anglais	Français
Phase (degrees)	Phase (degrés)
Count	Nombre
PD rate (pulse/s)	Taux de DP (impulsion/s)

Figure B.1 – Exemple d'indication de l'effet de polarité

La même méthode peut être appliquée avec des appareils numériques, pour l'amplitude pondérée de la DP Q_{iec} conformément à la définition 3.15.

Dans les systèmes utilisés dans la pratique, la définition d'une plage d'amplitudes permet d'établir le taux de comptage des impulsions par seconde (pps). La limite maximale de cette plage pour laquelle le taux de comptage des impulsions est supérieur ou égal à 10 pps définit Q_m . Le choix de la plage d'amplitudes, telle que définie par exemple par le numériseur, l'échelle maximale et d'autres paramètres qui influent sur le nombre d'impulsions tels que le