

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



High-voltage test techniques – Partial discharge measurements

Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 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.

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



High-voltage test techniques – Partial discharge measurements

Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 19.080

ISBN 978-2-8322-3053-4

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.
--

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



High-voltage test techniques – Partial discharge measurements

Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	8
4 Test circuits and measuring systems.....	12
4.1 General requirements	12
4.2 Test circuits for alternating voltages.....	13
4.3 Measuring systems for apparent charge	13
4.3.1 General	13
4.3.2 Coupling device	13
4.3.3 Pulse train response of instruments for the measurement of apparent charge.....	14
4.3.4 Wide-band PD instruments	14
4.3.5 Wide-band PD instruments with active integrator.....	15
4.3.6 Narrow-band PD instruments	15
4.4 Requirements for measurements with digital PD-instruments	15
4.4.1 Requirements for measurement of apparent charge q	16
4.4.2 Requirements for measurement of test voltage magnitude and phase.....	16
4.5 Measuring systems for derived quantities.....	16
4.5.1 Coupling device	16
4.5.2 Instruments for the measurement of pulse repetition rate n	16
4.5.3 Instruments for the measurement of average discharge current I	16
4.5.4 Instruments for the measurement of discharge power P	17
4.5.5 Instruments for the measurement of quadratic rate D	17
4.5.6 Instruments for the measurement of the radio disturbance voltage.....	17
4.6 Ultra-wide-band instruments for PD detection.....	17
5 Calibration of a measuring system in the complete test circuit	18
5.1 General	18
5.2 Calibration procedure	18
6 Calibrators.....	19
6.1 General	19
6.2 Calibrators for the calibration of a measuring system in the complete test circuit	20
6.3 Calibrators for performance tests on measuring systems.....	20
7 Maintaining the characteristics of calibrators and measuring systems	20
7.1 Schedule of tests	21
7.2 Maintaining the characteristics of calibrators	21
7.2.1 Type tests on calibrators	21
7.2.2 Routine tests on calibrators.....	21
7.2.3 Performance tests on calibrators.....	21
7.2.4 Performance checks on calibrators	21
7.2.5 Record of performance	22
7.3 Maintaining the characteristics of measuring systems	22
7.3.1 Type tests on PD measuring systems.....	22
7.3.2 Routine tests on measuring systems	23
7.3.3 Performance tests on measuring systems	23
7.3.4 Performance checks for measuring systems	23

7.3.5	Checks for additional capabilities of digital measuring systems	24
7.3.6	Record of performance	24
8	Tests	25
8.1	General requirements	25
8.2	Conditioning of the test object	25
8.3	Choice of test procedure	25
8.3.1	Determination of the partial discharge inception and extinction voltages	25
8.3.2	Determination of the partial discharge magnitude at a specified test voltage	26
9	Measuring uncertainty and sensitivity	26
10	Disturbances	27
11	Partial discharge measurements during tests with direct voltage	27
11.1	General	27
11.2	PD quantities related to partial discharges	28
11.3	Voltages related to partial discharges	28
11.3.1	Partial discharge inception and extinction voltages	28
11.3.2	Partial discharge test voltage	28
11.4	Test circuits and measuring systems	29
11.5	Tests	29
11.5.1	Choice of test procedures	29
11.5.2	Disturbances	29
Annex A	(normative) Performance test on a calibrator	36
Annex B	(informative) Test circuits	41
Annex C	(informative) Measurements on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and on test objects with windings	43
Annex D	(informative) The use of radio disturbance (interference) meters for the detection of partial discharges	44
Annex E	(informative) Guidelines to digital acquisition of partial discharge quantities PD measuring instruments	46
Annex F	(informative) Non-electrical methods of PD detection	52
Annex G	(informative) Disturbances	53
Annex H	(informative) Evaluation of PD test results during tests with direct voltage	56
Bibliography		58
Figure 1	– Basic partial discharge test circuits	31
Figure 2	– Test circuit for measurement at a tapping of a bushing	32
Figure 3	– Test circuit for measuring self-excited test objects	32
Figure 4	– Connections for the calibration of the complete test arrangement	34
Figure 5	– Correct relationship between amplitude and frequency to minimize integration errors for a wide-band system	34
Figure 6	– Step voltage parameters of a calibrator	35
Figure A.1	– Calibration of pulse calibrators	38
Figure A.2	– Setup for performance tests of calibrators using the numerical integration	39
Figure A.3	– Setup for performance tests of calibrators using the step voltage method	40

Figure A.4 – Impact of the series resistor R_S on the step voltage response appearing across C_m using the circuit according to Figure A.3, where the oscilloscope was connected to the calibrator via a $50\ \Omega$ measuring cable of 1 m long.	40
Figure D.1 – Variation of CISPR radio disturbance meter reading $f(N)$ with repetition frequency N , for constant pulses	45
Figure E.1 – Output voltage signals U_{out} of two different PD measuring systems for apparent charge (double pulse)	48
Figure E.2 – Block diagram of an analogue PD instrument equipped with an electronic integrator	49
Figure E.3 – Block diagram of digital PD instruments	50
Figure E.4 – Example for a phase-resolved PD pattern	51
Figure H.1 – Display modes of apparent pulses against measuring time.....	56
Figure H.2 – Histograms of PD pulse count m against apparent charge intervals.....	57
Table 1 – Pulse train response of PD instruments.....	14
Table 2 – Tests required for calibrators	21
Table 3 – Tests required for measuring systems.....	24

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES – PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 60270 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2000-12) [documents 42/162/FDIS and 42/165/RVD] and its corrigendum 1 (2001-10), and its amendment 1 (2015-11) [documents 42/338/FDIS and 42/340/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

International Standard IEC 60270 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage test techniques.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B, C, D, E, F and G are for information only.

Terms used throughout this standard which have been defined in clause 3: **bold roman type**.

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

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

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.

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES – PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

1 Scope

This International Standard is applicable to the measurement of **partial discharges** which occur in electrical apparatus, components or systems when tested with alternating voltages up to 400 Hz or with direct voltage.

This standard

- defines the terms used;
- defines the quantities to be measured;
- describes test and measuring circuits which may be used;
- defines analogue and digital measuring methods required for common applications;
- specifies methods for calibration and requirements of instruments used for calibration;
- gives guidance on test procedures;
- gives some assistance concerning the discrimination of **partial discharges** from external interference.

The provisions of this standard should be used in the drafting of specifications relating to **partial discharge** measurements for specific power apparatus. It deals with electrical measurements of impulsive (short-duration) **partial discharges**, but reference is also made to non-electrical methods primarily used for **partial discharge** location (see annex F).

Diagnosis of the behaviour of specific power apparatus can be aided by digital processing of **partial discharge** data (see annex E) and also by non-electrical methods that are primarily used for **partial discharge** location (see annex F).

This standard is primarily concerned with electrical measurements of **partial discharges** made during tests with alternating voltage, but specific problems which arise when tests are made with direct voltage are considered in clause 11.

The terminology, definitions, basic test circuits and procedures often also apply to tests with other frequencies, but special test procedures and measuring system characteristics, which are not considered in this standard, may be required.

Annex A provides normative requirements for performance tests on calibrators.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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*

CISPR 16-1:1993, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*

3 Terms and definitions

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

3.1

partial discharge (PD)

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

NOTE 1 **Partial discharges** are in general a consequence of local electrical stress concentrations in the insulation or on the surface of the insulation. Generally, such discharges appear as pulses having a duration of much less than 1 μs . More continuous forms can, however, occur, such as the so-called pulse-less discharges in gaseous dielectrics. This kind of discharge will normally not be detected by the measurement methods described in this standard.

NOTE 2 "Corona" is a form of **partial discharge** that occurs in gaseous media around conductors which are remote from solid or liquid insulation. "Corona" should not be used as a general term for all forms of PD.

NOTE 3 **Partial discharges** are often accompanied by emission of sound, light, heat, and chemical reactions. For further information, see annex F.

3.2

partial discharge pulse (PD pulse)

current or voltage pulse that results from a **partial discharge** occurring within the object under test. The pulse is measured using suitable detector circuits, which have been introduced into the test circuit for the purpose of the test

NOTE A **partial discharge** which occurs in the test object produces a current pulse. A detector in accordance with the provisions of this standard produces a current or a voltage signal at its output, proportional to the charge of the current pulse at its input.

3.3

quantities related to partial discharge pulses

3.3.1

apparent charge q

of a **PD pulse** is that charge which, if injected within a very short time between the terminals of the test object in a specified test circuit, would give the same reading on the measuring instrument as the **PD current pulse** itself. The **apparent charge** is usually expressed in picocoulombs (pC)

NOTE The **apparent charge** is not equal to the amount of charge locally involved at the site of the discharge, which cannot be measured directly.

3.3.2

pulse repetition rate n

ratio between the total number of **PD pulses** recorded in a selected time interval and the duration of this time interval

NOTE In practice, only pulses above a specified magnitude or within a specified range of magnitudes are considered.

3.3.3

pulse repetition frequency N

number of **partial discharge** pulses per second, in the case of equidistant pulses

NOTE **Pulse repetition frequency N** is associated with the situation in calibration.

3.3.4

phase angle ϕ_i and time t_i of occurrence of a PD pulse
is

$$\phi_i = 360 (t_i/T)$$

where t_i is the time measured between the preceding positive going transition of the test voltage through zero and the **partial discharge pulse** and T is the period of the test voltage

The phase angle is expressed in degrees (°).

3.3.5

average discharge current I

derived quantity and the sum of the absolute values of individual **apparent charge** magnitudes q_i during a chosen reference time interval T_{ref} divided by this time interval:

$$I = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_i|)$$

The **average discharge current** is generally expressed in coulombs per second (C/s) or in amperes (A).

3.3.6

discharge power P

derived quantity that is the average pulse power fed into the terminals of the test object due to **apparent charge** magnitudes q_i during a chosen reference time interval T_{ref} :

$$P = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + \dots + q_i u_i)$$

where $u_1, u_2, \dots, u_i$ are instantaneous values of the test voltage at the instants of occurrence t_i of the individual **apparent charge** magnitudes q_i . The sign of the individual values must be observed

The **discharge power** is generally expressed in watts (W).

3.3.7

quadratic rate D

derived quantity that is the sum of the squares of the individual **apparent charge** magnitudes q_i during a chosen reference time interval T_{ref} divided by this time interval:

$$D = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2)$$

The **quadratic rate** is generally expressed in (coulombs)² per second (C²/s).

3.3.8

radio disturbance meter

quasi-peak measuring receiver for frequency band B in accordance with the provisions of CISPR 16-1:1993

NOTE This type of instrument was earlier called a radio interference (or influence) meter.

3.3.9

radio disturbance voltage U_{RDV}

derived quantity that is the reading of a **radio disturbance meter** when used for indicating the **apparent charge** q of partial discharges. For further information, see 4.5.6 and annex D

The **radio disturbance voltage** U_{RDV} is generally expressed in μV .

3.4

largest repeatedly occurring PD magnitude

largest magnitude recorded by a measuring system which has the pulse train response as specified in 4.3.3

The concept of the **largest repeatedly occurring PD magnitude** is not applicable to tests with direct voltage.

3.5

specified partial discharge magnitude

largest magnitude of any quantity related to **PD pulses** permitted in a test object at a specified voltage following a specified conditioning and test procedure. For alternating voltage tests, the specified magnitude of the **apparent charge q** is the **largest repeatedly occurring PD magnitude**

NOTE The magnitude of any **PD pulse** quantity can vary stochastically in successive cycles and also show a general increase or decrease with time of voltage application. The **specified PD magnitude**, the test procedure and also the test circuit and instrumentation should therefore be appropriately defined by the relevant technical committees.

3.6

background noise

signals detected during PD tests, which do not originate in the test object

NOTE **Background noise** can be composed of either white noise in the measurement system, broadcast radio or other continuous or impulsive signals. For further information, see annex G.

3.7

applied test voltages related to partial discharge pulse quantities

as defined in IEC 60060-1. The following voltage levels are of particular interest

3.7.1

partial discharge inception voltage U_i

applied voltage at which repetitive **partial discharges** are first observed in the test object, when the voltage applied to the object is gradually increased from a lower value at which no **partial discharges** are observed

In practice, the inception voltage U_i is the lowest applied voltage at which the magnitude of a **PD pulse** quantity becomes equal to or exceeds a specified low value.

NOTE For tests with direct voltage, the determination of U_i needs special considerations. See clause 11.

3.7.2

partial discharge extinction voltage U_e

applied voltage at which repetitive **partial discharges** cease to occur in the test object, when the voltage applied to the object is gradually decreased from a higher value at which **PD pulse** quantities are observed

In practice, the extinction voltage U_e is the lowest applied voltage at which the magnitude of a chosen **PD pulse** quantity becomes equal to, or less than, a specified low value.

NOTE For tests with direct voltage, the determination of U_e needs special considerations. See clause 11.

3.7.3

partial discharge test voltage

specified voltage, applied in a specified **partial discharge** test procedure, during which the test object should not exhibit PD exceeding a **specified partial discharge magnitude**

3.8

partial discharge measuring system

system consisting of a coupling device, a transmission system and a measuring instrument

3.9

measuring system characteristics

The following definitions refer to measuring systems as specified in 4.3

3.9.1

transfer impedance $Z(f)$

ratio of the output voltage amplitude to a constant input current amplitude, as a function of frequency f , when the input is sinusoidal

3.9.2

lower and upper limit frequencies f_1 and f_2

frequencies at which the **transfer impedance $Z(f)$** has fallen by 6 dB from the peak pass-band value

3.9.3

midband frequency f_m and bandwidth Δf

for all kinds of measuring systems, the **midband frequency** is defined by:

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

and the **bandwidth** is defined by:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

3.9.4

superposition error

caused by the overlapping of transient output pulse responses when the time interval between input current pulses is less than the duration of a single output response pulse. **Superposition errors** can be additive or subtractive depending on the **pulse repetition rate** of the input pulses. In practical circuits, both types will occur due to the random nature of the **pulse repetition rate**. However, since measurements are based on the **largest repeatedly occurring PD magnitude**, usually only the additive **superposition errors** will be measured

NOTE **Superposition errors** can attain levels of 100 % or more depending on the **pulse repetition rate** and the characteristics of the measuring system.

3.9.5

pulse resolution time T_r

shortest time interval between two consecutive input pulses of very short duration, of same shape, polarity and charge magnitude for which the peak value of the resulting response will change by not more than 10 % of that for a single pulse

The **pulse resolution time** is in general inversely proportional to the **bandwidth Δf** of the measuring system. It is an indication of the measuring system's ability to resolve successive PD events.

NOTE It is recommended that the **pulse resolution time** be measured for the whole test circuit, as well as for the measuring system, as **superposition errors** can be caused by the test object, for example reflections from cable ends. The relevant technical committees should specify the procedure for handling **superposition errors** and particularly, the allowable tolerances including their signs.

3.9.6

integration error

error in **apparent charge** measurement which occurs when the upper frequency limit of the PD current pulse amplitude-spectrum is lower than

- the upper cut-off frequency of a wideband measuring system; or
- the mid-band frequency of a narrow-band measuring system.

See figure 5.

NOTE If required for a special type of apparatus, the relevant technical committees are urged to specify more restrictive values for f_1 and f_2 to minimize the **integration error**.

3.10

digital partial discharge instruments

~~considered in this standard are in general based on analogue measuring systems or instruments for the measurement of apparent charge q , followed by a digital acquisition and processing system. The digital part of a digital PD-instrument is used to process analogue signals for further evaluation, to store relevant quantities and to display test results. See also annex E.~~

instruments which perform a digital acquisition and evaluation of the PD data

Note 1 to entry: ~~A digital PD-instrument can also be based on a coupling device and a digital acquisition system without the analogue signal processing front end. This standard does not provide specific information applicable to this type of instrument.~~

The A/D conversion of the PD pulses captured from the terminals of the test object can be done either directly or after the apparent charge pulses have been established employing either an analogue band-pass filter amplifier or an active integrator (see Annex E).

3.11

scale factor k

factor by which the value of the instrument reading is to be multiplied to obtain the value of the input quantity (IEC 60060-2:1994, 3.5.1)

3.12

accumulated apparent charge q_a

sum of the apparent charge q of all individual pulses exceeding a specified threshold level, and occurring during a specified time interval Δt

3.13

PD pulse count m

total number of PD pulses which exceed a specified threshold level within a specified time interval Δt

3.14

PD pattern

display of the apparent charge q versus the phase angle φ_i of the PD pulses recorded during a specified time interval Δt

4 Test circuits and measuring systems

4.1 General requirements

In this clause, basic test circuits and measuring systems for **partial discharge** quantities are described, and information on the operating principle of these circuits and systems is provided. The test circuit and measuring system shall be calibrated as specified in clause 5 and shall meet the requirements specified in clause 7. The technical committee may also recommend a particular test circuit to be used for particular test objects. It is recommended that the technical committees use **apparent charge** as the quantity to be measured wherever possible, but other quantities may be used in particular specific situations.

If not otherwise specified by the relevant technical committee, any of the test circuits mentioned in 4.2 and any of the measuring systems as specified in 4.3 are acceptable. In each case, the most significant characteristics of the measuring system (f_1 , f_2 , T_r , see 3.9.2 and 3.9.5) as applied, shall be recorded.

For tests with direct voltage, see clause 11.

4.2 Test circuits for alternating voltages

Most circuits in use for **partial discharge** measurements can be derived from one or other of the basic circuits, which are shown in figures 1a to 1d. Some variations of these circuits are shown in figures 2 and 3. Each of these circuits consists mainly of

- a test object, which can usually be regarded as a capacitor C_a (see, however, annex C);
- a coupling capacitor C_k , which shall be of low inductance design, or a second test object C_{a1} , which shall be similar to the test object C_a . C_k or C_{a1} should exhibit a sufficiently low level of **partial discharges** at the specified test voltage to allow the measurement of the **specified partial discharge magnitude**. A higher level of **partial discharges** can be tolerated if the measuring system is capable of distinguishing the discharges from the test object and the coupling capacitor and measuring them separately;
- a measuring system with its input impedance (and sometimes, for balanced circuit arrangements, a second input impedance);
- a high-voltage supply, with sufficiently low level of **background noise** (see also clauses 9 and 10) to allow the **specified partial discharge magnitude** to be measured at the specified test voltage;
- high-voltage connections, with sufficiently low level of **background noise** (see also clauses 9 and 10) to allow the **specified partial discharge magnitude** to be measured at the specified test voltage;
- an impedance or a filter can be introduced at high voltage to reduce **background noise** from the power supply.

NOTE For each of the basic PD test circuits shown in figures 1 and 3, the coupling device of the measuring system can also be placed at the high-voltage terminal side, so that the positions of the coupling device with C_a or C_k are exchanged; then, optical links are used for the interconnection of the coupling device with the instrument, as indicated in figure 1a.

Additional information and particular characteristics of the different test circuits are considered in annexes B and G.

4.3 Measuring systems for apparent charge

4.3.1 General

Partial discharge measuring systems can be divided into the 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 and will thus not be taken into consideration.

4.3.2 Coupling device

The coupling device is an integral part of the measuring system and test circuit, with components specifically designed to achieve the optimum sensitivity with a specific test circuit. Different coupling devices may thus be used in conjunction with a single measuring instrument.

The coupling device is usually an active or passive four-terminal network (quadripole) and converts the input currents to output voltage signals. These signals are transmitted to the measuring instrument by a transmission system. The frequency response of the coupling device, defined by output voltage to input current, is normally chosen at least so as to effectively prevent the test voltage frequency and its harmonics from reaching the instrument.

NOTE 1 Though the frequency response of an individual coupling device is not of general interest, the magnitude and frequency characteristics of the input impedance are of importance as this impedance interacts with C_k and C_a and is thus an essential part of the test circuit.

NOTE 2 Interconnection leads between the coupling device and the test object should be kept as short as practical so as to minimize effects on the detection bandwidth.

4.3.3 Pulse train response of instruments for the measurement of apparent charge

Provided the amplitude frequency spectrum of the input pulses is constant at least within the **bandwidth** Δf of the measuring system (see figure 5), the response of the instrument is a voltage pulse with a peak value proportional to the (unipolar) charge of the input pulse. The shape, duration and the peak value of this output pulse are determined by the **transfer impedance** $Z(f)$ of the measuring system. Thus, the shape and duration of the output pulse can be completely different from that of the input signal.

Display of the individual output voltage pulses on the screen of an oscilloscope can assist in recognizing the origin of **partial discharges** and in distinguishing them from disturbances (see clause 10). The voltage pulses should be displayed either on a linear time-base which is triggered by the test voltage, or on a sinusoidal time base synchronized with the test voltage frequency or an elliptical time-base which rotates synchronously with the test voltage frequency.

In addition, it is particularly recommended that an indicating instrument or recorder should be used to quantify the **largest repeatedly occurring PD magnitude**. The reading of such instruments, when used in testing with alternating voltage, should be based on an analogue peak detection circuit, or digital peak detection by software, with a very short electrical charge time constant and an electrical discharge time constant not larger than 0,44 s. Independent of the type of display used in such instruments, the following requirements apply:

The response of the system to a pulse train consisting of equally large equidistant pulses q_0 with a known **pulse repetition frequency** N , shall be such that the reading R of the instrument indicates magnitudes as given in the following table. The range and gain of the instrument is assumed to be adjusted to read full scale or 100 % for $N = 100$. The calibrator used to produce the pulses shall conform to the requirements of clause 5.

Table 1 – Pulse train response of PD instruments

N (1/s):	1	2	5	10	50	≥ 100
$R_{\min}$ (%):	35	55	76	85	94	95
$R_{\max}$ (%):	45	65	86	95	104	105

NOTE 1 This characteristic is necessary to establish compatibility of readings obtained with different types of instruments. The requirement is to be fulfilled on all ranges. Instruments already in use at the date of issue of this standard are not required to comply with these requirements; however, the actual values for $R(N)$ should be given.

NOTE 2 The measured quantity can be indicated, for example, on pointer instruments, digital displays or oscilloscopes.

NOTE 3 The specified response may be obtained either by analogue or by digital signal processing.

NOTE 4 The pulse train response defined in this subclause is not appropriate for direct voltage tests.

NOTE 5 The relevant technical committee may specify a different response tailored to a particular apparatus.

4.3.4 Wide-band PD instruments

In combination with the coupling device, this type of instrument constitutes a wide-band PD measuring system which is characterized by a **transfer impedance** $Z(f)$ having fixed values of the **lower and upper limit frequencies** f_1 and f_2 , and adequate attenuation below f_1 and above f_2 . Recommended values for the significant frequency parameters f_1 , f_2 and Δf are:

$$30 \text{ kHz} \leq f_1 \leq 100 \text{ kHz};$$

$$f_2 \leq 500 \text{ kHz} \leq 1 \text{ MHz};$$

$$100 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 900 \text{ kHz}.$$

NOTE 1 Combinations of different coupling devices with the measuring instrument can alter the **transfer impedance**. The overall response should, however, always fulfil the recommended values.

NOTE 2 For test objects with windings like transformers and electrical machines the acquired frequency band may be reduced down to a few 100 kHz and even below. The upper limit frequency f_2 to be accepted for such kinds of test objects should be specified by the relevant Technical Committee.

The response of these instruments to a (non-oscillating) **partial discharge** current pulse is in general a well-damped oscillation. Both the **apparent charge q** and polarity of the PD current pulse can be determined from this response. The **pulse resolution time T_r** is small and is typically 5 μ s to 20 μ s.

4.3.5 Wide-band PD instruments with active integrator

This type of instrument consists of a very wide-band amplifier followed by an electronic integrator which is characterized by the time constant of its integrating capacitor and resistor network. The response of the integrator to a **PD pulse** is a voltage signal increasing with the instantaneous sum of charge. The final amplitude of the signal is thus proportional to the total charge, assuming that the time constant of the integrator is much larger than the duration of the **PD pulse**. In practice, time constants in the range of 1 μ s are typical. The **pulse resolution time** for consecutive **PD** pulses is less than 10 μ s.

NOTE A corresponding **upper limit frequency** of some hundred kilohertz can be attributed to such instruments, calculated from the time constant of the combination of the amplifier and active integrator.

4.3.6 Narrow-band PD instruments

These instruments are characterized by a small **bandwidth Δf** and a **midband frequency f_m** , which can be varied over a wide frequency range, where the amplitude frequency spectrum of the PD current pulse is approximately constant. Recommended values for Δf and f_m are

$$9 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 30 \text{ kHz}$$

$$50 \text{ kHz} \leq f_m \leq 1 \text{ MHz.}$$

It is further recommended that the **transfer impedance $Z(f)$** at frequencies of $f_m \pm \Delta f$ should be 20 dB below the peak pass-band value.

NOTE 1 During actual **apparent charge** measurements, midband frequencies $f_m > 1 \text{ MHz}$ should only be applied if the readings for such higher values do not differ from those as monitored for the recommended values of f_m .

NOTE 2 In general, such instruments are used together with coupling devices providing high-pass characteristics within the frequency range of the instrument. If resonance coupling devices are used, f_m has to be tuned and fixed to the resonance frequency of the coupling device and the test circuit to provide a constant **scale factor** of the circuit.

NOTE 3 **Radio disturbance meters** with quasi-peak response are not qualified under this standard for the measurement of the **apparent charge q** , but they can be used for detection of PD.

The response of these instruments to a **partial discharge** current pulse is a transient oscillation with the positive and negative peak values of its envelope proportional to the **apparent charge**, independent of the polarity of this charge. The **pulse resolution time T_r** will be large, typically above 80 μ s.

4.4 Requirements for measurements with digital PD-instruments

The minimum requirement for a **digital PD-instrument** is to:

- display the value of the **largest repeatedly occurring PD magnitude**. The instrument shall conform to the requirements of 4.3.3.

Additionally, one or more of the following quantities may be evaluated and recorded:

- the **apparent charge q_i** occurring at time instant t_i ;

- the instantaneous value of the test voltage u_i as measured at the time instant t_i of occurrence of the individual **apparent charge** q_i ;
- the **phase angle** ϕ_i of occurrence of the **PD pulse** occurring at time t_i .

4.4.1 Requirements for measurement of apparent charge q

The time between successive updates of the digital display shall not exceed 1 s.

The instrument response will normally include some level of continuous or base line noise. This noise can be caused by **background noise** or by a large number of **partial discharge pulses** whose magnitude is small compared with the highest level to be measured. Thus, a bipolar sensitivity threshold may be introduced to prevent such signals from being recorded. If a threshold level is used, this level shall be recorded.

Guidelines regarding the digital acquisition of the analogue response signals are provided in annex E.

4.4.2 Requirements for measurement of test voltage magnitude and phase

If the digital instrument is stated to be able to record the voltage level of the power frequency test voltage, it shall comply with the requirements of IEC 60060-2, 1994.

If the instrument is stated to be able to measure the phase angle of the test voltage, it shall be suitably demonstrated that the phase displacement of the reading is within 5 degrees of the true value.

4.5 Measuring systems for derived quantities

4.5.1 Coupling device

The provisions of 4.3.2 are also valid for measuring systems for derived quantities.

4.5.2 Instruments for the measurement of pulse repetition rate n

An instrument for the determination of the **pulse repetition rate** shall have a sufficiently short **pulse resolution time** T_r to resolve the highest **pulse repetition rate** of interest. Magnitude discriminators which suppress pulses below an adjustable, predetermined magnitude, may be required to avoid counting of non-significant signals. Several discriminator levels can be suitable to characterize PD, for example, in tests with direct voltage.

It is recommended that the counter input is connected to the output of a PD measuring system as described in 4.3. If a pulse counter is used with a PD measuring system with oscillatory or bi-directional response, suitable pulse shaping must be done to avoid obtaining more than one count per pulse.

4.5.3 Instruments for the measurement of average discharge current I

In principle, instruments which measure the average value of the discharge current pulses after linear amplification and rectification will indicate, when suitably calibrated, the **average discharge current** I . Errors can be introduced into this measurement due to

- amplifier saturation at low **pulse repetition rate** n ;
- pulses occurring with separation times less than the **pulse resolution time** T_r of the system;
- low-level partial discharges being below the detection threshold of the digital acquisition equipment.

Such sources of error should be taken into account when evaluating such measurements.

The **average discharge current** may also be calculated by digital processing.

NOTE Saturation can occur when the **repetition rate** n is so low that **average discharge current** I is difficult to detect. In such cases, the temptation can be to increase substantially the gain of the PD instrument amplifier (thereby increasing the **scale factor**) until this current is detectable. This can result in the situation where the amplifier's dynamic range is such that it is unable to respond linearly to the infrequent PD pulses. To prevent this situation, the PD instrument can be equipped with alarm circuits to detect non-linear operation, or the output of the PD instrument can be visually monitored (for example, on an oscilloscope) during the measurement of **average discharge current**.

4.5.4 Instruments for the measurement of discharge power P

Different types of test circuits and analogue instruments may be used for the measurement of **discharge power**. They are usually based on the evaluation of $\sum q_i u_i$, a quantity which can be measured by the area of an oscilloscope display if the x-y-axes are used to quantify $\int q_i$ and $u(t)$ respectively, or by more sophisticated techniques. The calibration of such test circuits and instruments relies on the determination of the **scale factors** for applied voltage and **apparent charge**.

The **discharge power** may also be calculated by digital processing.

4.5.5 Instruments for the measurement of quadratic rate D

Instruments which measure the mean of the squares of the individual **apparent charge** magnitudes q_i will indicate the **quadratic rate** D . The design of such instruments should be based on characteristics as applicable for **apparent charge** measurements.

The **quadratic rate** may also be calculated by digital processing.

4.5.6 Instruments for the measurement of the radio disturbance voltage

Radio disturbance meters are frequency selective voltmeters. The instruments are primarily intended for measuring interference or disturbances to broadcast radio signals. Though **radio disturbance meters** do not indicate directly any of the quantities defined in this standard, they can give a reasonable indication of **apparent charge magnitude** q , when used with a coupling device having an adequate high-pass characteristic and when calibrated according to clause 5.

Due to the quasi-peak measuring circuit within this instrument, the reading is, however, sensitive to the **pulse repetition rate** n of the discharge pulses. For further information, see annex D.

4.6 Ultra-wide-band instruments for PD detection

Partial discharges can also be detected by oscilloscopes providing very high **bandwidth** or by frequency selective instruments (for example, spectrum analyzers) together with appropriate coupling devices. The aim of application is to measure and to quantify the shape or the frequency spectrum of **partial discharge** current or voltage pulses in equipment with distributed parameters, for example cables, rotating machines or gas insulated switchgear, or to provide information about the physics or origin of the discharge phenomena.

No recommendations are given in this standard for either measuring methods or bandwidth/frequencies of instruments to be used in such investigations, as these methods or instruments, in general, do not directly quantify the **apparent charge** of PD current pulses.

5 Calibration of a measuring system in the complete test circuit

5.1 General

The object of calibration is to verify that the measuring system will be able to measure the **specified PD magnitude** correctly.

The calibration of a measuring system in the complete test circuit is made to determine the **scale factor** k for the measurement of the **apparent charge**. As the capacitance C_a of the test object affects the circuit characteristics, calibration shall be made with each new test object, unless tests are made on a series of similar objects with capacitance values within $\pm 10\%$ of the mean values.

The calibration of a measuring system in the complete test circuit, is carried out by injecting short-duration current pulses of known charge magnitude q_0 , into the terminals of the test object (see figure 4). The value of q_0 shall be taken as the result of the performance test on the calibrator (see 7.2.3).

5.2 Calibration procedure

Calibration of measuring systems intended for the measurement of **apparent charge** q , should be made by injecting current pulses by means of a calibrator, as defined in clause 6.2, across the terminals of the test object, as shown in figure 4. The calibration should be performed at one magnitude in the relevant range of the magnitudes expected, to assure good accuracy for the **specified PD magnitude**.

The relevant range of magnitude should, in lieu of other specifications, be understood to be from 50 % to 200 % of the **specified PD magnitude**.

As the capacitor C_0 of a calibrator is often a low-voltage capacitor, the calibration of the complete test arrangement is performed with the test object de-energized. For the calibration to remain valid, the calibration capacitor C_0 should not be larger than $0,1 C_a$. If the requirements for the calibrator are met, the calibration pulse is then equivalent to a single-event discharge magnitude $q_0 = U_0 C_0$.

Consequently, C_0 must be removed before energizing the test circuit. If, however, C_0 is of high-voltage type, and has a sufficiently low level of **background noise** (see also clauses 9 and 10) to allow the specified PD level to be measured at the specified test voltage, it can remain connected in the test circuit.

NOTE 1 The requirement that the capacitor C_0 should be less than $0,1 C_a$ is not required if C_0 is of high-voltage type and if it is left in the test circuit.

In case of tall objects of several metres in height, the injection capacitor C_0 should be located close to the high-voltage terminal of the test object as the stray capacitance C_s (indicated in figures 4a and 4b) could cause unacceptable errors.

The connection cable between the step voltage generator and capacitor C_0 should be shielded and be equipped with appropriate termination to avoid distortion of the voltage step.

NOTE 2 For tall test objects, the connection leads between calibrator and terminals of the test object might exceed several meters. Thus the transfer of the charge from the calibrator to the test object may be reduced due to inevitable stray capacitances. The measurement uncertainty acceptable under this condition should be specified by the relevant Technical Committee.

6 Calibrators

6.1 General

The current pulses are generally derived from a calibrator that comprises a generator producing step voltage pulses of amplitude U_0 in series with a capacitor C_0 , so that the calibration pulses are repetitive charges each of magnitude

$$q_0 = U_0 C_0$$

In practice, it is not possible to produce ideal step voltage pulses. Though other wave-forms having slower rise times t_r (10 % to 90 % of peak value) and finite decay times t_d (90 % to 10 % of peak value) can inject essentially the same amount of charge, the responses of different measuring systems or test circuits can differ due to the **integration error** caused by the increased duration of such calibration current pulses.

~~The voltage pulses of the generator shall have a rise time t_r of less than 60 ns.~~ The parameters characterizing unipolar step voltage of magnitude U_0 shall satisfy the following conditions (see Figure 6):

Rise time:	$t_r \leq 60 \text{ ns}$
Time to steady state:	$t_s \leq 200 \text{ ns}$
Step voltage duration:	$t_d \geq 5 \text{ } \mu\text{s}$
Deviation of the step voltage magnitude U_0 between t_s and t_d :	$\Delta U \leq 0.03 U_0$

The time parameters t_r , t_s and t_d are measured from the origin t_0 of the step voltage which refers to the time instant when the rising voltage equals 10 % of U_0 (see Figure 6).

The time to steady state t_s is the shortest instant at which the deviation ΔU from U_0 remains first time less than 3 %.

The step voltage duration t_d is the instant after t_s at which the magnitude of the step voltage decays below 97% of U_0 . After t_d , the voltage shall decrease continuously down to 10 % of U_0 within a time interval not shorter than 500 μs .

The magnitude U_0 of the step voltage is the mean value occurring within the steady state duration $t_d - t_s$.

For test objects represented by a lumped capacitance C_a the calibrating capacitor C_0 shall satisfy the conditions $C_0 \leq 200 \text{ pF}$ and $C_0 \leq 0,01 C_a$.

For test objects represented by a characteristic impedance Z_c , such as power cables exceeding a length of 200 m, the value of the calibrating capacitor shall satisfy the conditions $C_0 \leq 1 \text{ nF}$ and $C_0 \times Z_c \leq 30 \text{ ns}$.

For calibrators manufactured before this amendment was published, whose time and voltage parameters do not comply with the above specified values, the deviation of the measured values from the specified values shall be stated in the test protocol.

NOTE 1 For wide-band instruments with an upper limit frequency higher than 500 kHz, the requirement $t_r < 0,03/f_2$ must be fulfilled to produce a nearly constant amplitude frequency spectrum as shown in figure 5.

Calibration pulses can be generated either as a series of voltage pulses (unipolar or bipolar) being characterized by a fast rise time (as defined above) and with a slow decay time, or as a rectangular pulse train which is effectively differentiated by the calibration capacitor C_0 . For the first case, the decay time t_d of the voltage pulses shall be large compared with $1/f_1$ of the measuring system. For the second case, the voltage U_0 should not change by more than 5 %

for the time interval between pulses. For both cases, the time interval between pulses should be longer than the **pulse resolution time**. For bipolar systems, the magnitude of both polarity pulses should have the same magnitude to within 5 %.

For the injection of current pulses into test objects with distributed electrical elements, such as gas insulated switchgear, C_0 may consist of a known capacitance between the high-voltage conductor and the sensor electrode connected to the calibration voltage source (see figure 4c).

NOTE 2 Calibrators qualified under this clause can be applied to the calibration of systems for measuring the **apparent charge** as well as to systems for measuring derived quantities.

6.2 Calibrators for the calibration of a measuring system in the complete test circuit

Calibrators can provide either unipolar or bipolar current pulses. The **pulse repetition frequency N** may be either fixed (for example, twice the frequency of the test voltage), or variable (provided that the interval between pulses exceeds the **pulse resolution time**). Such calibrators are applicable for the calibration of a measuring system in the complete test circuit to determine the **scale factor** of the **PD measuring system**.

NOTE 1 The **scale factor** is generally determined at one magnitude in the range of 50 % to 200 % of the **specified PD magnitude**.

NOTE 2 The calibration of a measuring system can be checked indirectly by injecting calibration pulses into the high-voltage test circuit (often at the input of the coupling device), but not at the terminals of the test object. This method does not constitute a calibration alone, but if used in conjunction with a calibration of the measuring system in the complete test circuit (see clause 5), this technique can be used as a transfer reference to simplify calibration procedures. The calibrator used should comply with the provisions of this standard.

6.3 Calibrators for performance tests on measuring systems

For checking additional features of the test circuit and measuring system characteristics, a more sophisticated calibrator device or even calibration procedure is recommended. The following characteristics are recommended for a calibrator used for performance tests:

- variable charge magnitude q_0 , in steps or continuously, for determination of the linearity of the **scale factor k** . The variation should be achieved by varying the step voltage. The linearity of the calibrator should be better than ± 5 % or ± 1 pC, whichever is the greater;
- variable time delay between two consecutive pulses of the same polarity to check the **pulse resolution time T_r** of the measuring system alone or the **pulse resolution time** of the whole test circuit;
- both output terminals of the calibrator floating, i.e. potential-free output;
- for battery-operated calibrators a battery status indicator should be provided;
- bipolar pulses to detect a change in **apparent charge** magnitude measurement with respect to PD current pulse polarity;
- a series of calibration pulses with known number of equal charge magnitudes and **repetition frequency N** to check **digital partial discharge instruments**.

7 Maintaining the characteristics of calibrators and measuring systems

Performance tests and performance checks are carried out to assess and maintain the characteristics of measuring systems.

Performance tests and performance checks are also carried out to assess and maintain the characteristics of calibrators.

In general, manufacturers of calibrators intended to calibrate **partial discharge** quantities will provide specifications and guidelines to perform periodic maintenance for the verification of the calibrator.

Independent of such manufacturer's specifications, the following procedures shall be followed. The results of the tests and checks shall be recorded in the record of performance.

7.1 Schedule of tests

Verifications of measuring systems and of calibrators are performed once as acceptance tests. Performance tests are performed periodically, or after any major repair, and at least every five years. Performance checks are performed periodically and at least once a year.

Acceptance tests can comprise both type tests and routine tests. This schedule is in accordance with the general provisions of IEC 60060-2.

7.2 Maintaining the characteristics of calibrators

7.2.1 Type tests on calibrators

Type tests on calibrators shall be performed for one calibrator of a series. These type tests are to be carried out by the manufacturer of the calibrator. If type test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

The type test shall include all the tests required in a performance test.

7.2.2 Routine tests on calibrators

Routine tests on calibrators shall be performed for each calibrator of a series. These routine tests are to be carried out by the manufacturer of the calibrator. If routine test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

The routine test shall include all the tests required in a performance test.

7.2.3 Performance tests on calibrators

The accuracy of PD measurements depends on the accuracy of the calibrators. It is, therefore, recommended that the first performance test on a calibrator for which approval is sought should be traceable to national standards.

The following performance tests shall be made:

- determination of the actual calibrator charge q_0 on all nominal settings of the calibrator. The uncertainty of this determination should be assessed to be within $\pm 5\%$ or 1 pC, whichever is greater. It is the actual value of the calibrator charge that shall be employed when utilizing the calibrator;
- determination of the rise time t_r of the voltage step U_0 , with an uncertainty of $\pm 10\%$;
- determination of the **pulse repetition frequency N** with an uncertainty of $\pm 1\%$ by means of a pulse counter; this requirement applies only to calibrators intended for calibration of reading of **pulse repetition rate n** .

Annex A describes an adequate procedure to perform such tests related to q_0 and t_r . Other procedures may be applied if their applicability is confirmed by tests.

The results of all tests shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

7.2.4 Performance checks on calibrators

The following performance checks shall be made:

- determination of the actual calibrator charge q_0 on all nominal settings of the calibrator. The uncertainty of this determination should be assessed to be within $\pm 5\%$ or 1 pC, whichever is greater;

The results of all checks shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

Table 2 – Tests required for calibrators

Type of test	Reference to test method	Test classification			
		Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Measurement of q_0	7.2.3	X	X	X	X
Measurement of t_r	7.2.3	X	X	X	
Measurement of N	7.2.3	X	X	X	

7.2.5 Record of performance

The record of performance of a calibrator shall include the following information:

- a) Nominal characteristics
 - 1) Identification (serial number, type, etc.)
 - 2) Range of operation conditions
 - 3) Range of reference conditions
 - 4) Warm-up time
 - 5) Range of charge output
 - 6) Supply voltage
- b) Result of type test
- c) Result of routine test
- d) Results of performance tests
 - 1) Date and time of each performance test
- e) Results of performance checks
 - 1) Date and time of each performance check
 - 2) Result – pass/fail (if fail, record of action taken)

7.3 Maintaining the characteristics of measuring systems

In general, manufacturers of measuring systems intended to measure quantities as specified in 3.3 will provide specifications and guidelines to perform periodic maintenance for the verification of the measuring instrument or system characteristics.

Independent from such manufacturers' specifications, the following procedures shall be followed. The results of the tests and checks shall be recorded in the record of performance.

7.3.1 Type tests on PD measuring systems

Type tests on PD measuring systems shall be performed for one measuring system of a series. These type tests are to be done by the manufacturer of the measuring system. If type test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

Type tests on PD measuring systems shall at least include:

- determination of the **transfer impedance $Z(f)$** and **lower and upper limit frequencies f_1 and f_2** of the measuring system over a range of frequencies in which it has dropped to 20 dB from the peak pass-band value. The input quantity should be sinusoidal current signals with variable frequency;
- determination of the **scale factor k** of the measuring system to calibration pulses of at least three different charge magnitudes, ranging from 100 % to 10 % of full range, at low **pulse repetition rate n** (about 100/s) on each magnitude range. The variation of k shall be less than ± 5 % in order to prove the linearity of the measuring system;
- determination of the **pulse resolution time T_r** of the measuring system by applying calibration pulses of constant charge magnitude but decreasing time interval between consecutive pulses. The **pulse resolution time** shall be determined for all coupling devices intended to be used with the instrument and at the minimum and maximum capacitance for which each coupling device is intended;
- verification that the variation of the reading of the **apparent charge q** with **pulse repetition frequency N** of the calibration pulses is in accordance with the values as provided in 4.3.3 for tests with alternating voltage.

7.3.2 Routine tests on measuring systems

Routine tests on measuring systems shall be performed for each measuring system of a series. These routine tests are to be done by the manufacturer of the measuring systems. If test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

The routine test shall include all the tests required in a performance test.

7.3.3 Performance tests on measuring systems

Performance tests on measuring systems shall include:

- determination of the **transfer impedance $Z(f)$** and **lower and upper frequency limits f_1 and f_2** of the measuring system over a range of frequencies in which it has dropped to 20 dB from the peak pass-band value. The input quantity should be sinusoidal current signals with variable frequency;
- the linearity of the measuring system shall be determined by applying the signal from a variable PD calibrator to the input of the measuring system. The linearity of the **scale factor k** should be verified from 50 % of the lowest, to 200 % of the highest **specified PD magnitude** to be measured. The variation of k shall be less than ± 5 % in order to prove the linearity of the measuring system.

The results of all tests shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

7.3.4 Performance checks for measuring systems

- Determination of the **transfer impedance $Z(f)$** of the measuring system at one frequency in the pass-band is required. It should be verified that the value has not changed by more than 10 % from the value recorded in the preceding performance test. The input quantity should be a sinusoidal current signal with variable frequency.

The results of all checks shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

Table 3 – Tests required for measuring systems

Type of test	Reference to test method	Test classification			
		Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Determination of $Z(f)$	7.3.1	X	X	X	
Determination of $Z(f)$ at single frequency	7.3.4				X
Determination of k	7.3.1	X			
Determination of T_r	7.3.1	X			
Pulse train response	4.3.3	X			
Linearity	7.3.1	X			
Linearity	7.3.2		X	X	

7.3.5 Checks for additional capabilities of digital measuring systems

The provisions valid for analogue measuring systems shall be applicable to digital measuring systems, but as the digital systems provide additional capabilities to record many quantities related to **partial discharges**, their abilities should be quantitatively demonstrated by additional tests.

As a complete calibration procedure for digital PD instruments would depend on the specific abilities of the instruments which can be quite different, the following minimum additional calibration procedures are specified:

- To demonstrate the extent to which digital acquisition can correctly record input pulses irrespective of their frequency, the calibrator shall have the ability to produce, during a defined time interval, a known number of pulses (for example 10^4) with adjustable **pulse repetition frequencies**. The **pulse repetition frequency** of the calibrator shall be increased in adequate steps from low values (for example, 100 Hz) up to higher values that should not exceed the limits imposed by the **pulse resolution time** of the measuring system used. For every value of the **pulse repetition frequency**, the recorded number of pulses as observed during the defined time interval shall be within ± 2 % of the known number of calibration pulses applied.
- To demonstrate the extent to which the digital acquisition is successful in capturing every PD event, the calibrator shall be used with a constant but well-known **pulse repetition frequency** (for example 100 Hz) and the number of recorded events shall be compared with the number of calibration pulses generated by the calibrator during the maximum time of registration for which the digital instrument is designed. A deviation of ± 2 % is permitted when comparing the two numbers.

See also annex E for further information.

7.3.6 Record of performance

The record of performance of a measuring system shall include the following information:

- a) Nominal characteristics
 - 1) Identification (serial number, type, etc.)
 - 2) Range of operation conditions
 - 3) Range of reference conditions
 - 4) Warm-up time
 - 5) Range of measured charge quantity
 - 6) Supply voltage

- b) Result of type test
- c) Result of routine test
- d) Results of performance tests
 - 1) Date and time of each performance test
- e) Results of performance checks
 - 1) Date and time of each performance check
 - 2) Result – pass/fail (if fail, record of action taken)

8 Tests

This clause lists test object and test voltage requirements. Additional requirements, for special test conditions and methods of test, may be specified by the relevant technical committee. The committee should also specify the minimum measurable magnitude required. Information on practical limits of minimum measurable magnitude is given in annex G. For the case of tests with direct voltages, see clause 11. The technical committee may also recommend a partial discharge quantity other than the **apparent charge** to be measured.

NOTE Some guidance for the measurement of **partial discharges** on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and in test objects with windings will be found in annex C.

8.1 General requirements

In order to obtain reproducible results in **partial discharge** tests, careful control of all relevant factors is necessary. The **partial discharge measuring system** shall be calibrated in accordance with the provisions of clause 5 prior to testing.

8.2 Conditioning of the test object

Before being tested, a test object should undergo a conditioning procedure specified by the relevant technical committee.

Unless otherwise specified:

- a) the surface of the external insulation of test objects shall be clean and dry because moisture or contamination on insulating surfaces can cause **partial discharges**; and
- b) the test object should be at ambient temperature during the test.

Mechanical, thermal and electrical stressing just before the test can affect the result of **partial discharge** tests. To ensure good reproducibility, a rest interval after previous stressing may be necessary before making **partial discharge** tests.

8.3 Choice of test procedure

The specification of procedures to be used for particular types of test and test objects is the responsibility of the relevant technical committee. They shall define any preliminary conditioning process, the test voltage levels and frequency, the rate of rise and fall of applied voltage, the sequence and duration of voltage application, and the relationship of **partial discharge** measurement tests to other dielectric tests.

To assist in preparing such test specifications, examples of test procedures for alternating voltages are given in 8.3.1 and 8.3.2.

8.3.1 Determination of the partial discharge inception and extinction voltages

A voltage well below the expected **inception voltage** shall be applied to the test object and gradually increased until discharges attain, or exceed, a specified low magnitude. The test voltage at this specified magnitude is the **partial discharge inception voltage** U_i . The voltage

is then increased to a specified voltage level and thereafter gradually reduced to a value at which the discharges become less than the same specified magnitude. The test voltage at this discharge limit is the **partial discharge extinction voltage** U_e . Note that the value of U_i can be affected by the rate of rise of voltage, and U_e can be affected by the amplitude and time of voltage application and also by the rate of decrease of voltage.

NOTE 1 In some types of insulation, **partial discharges** occur only intermittently when the voltage is first raised to U_i , in others the discharge magnitude rises rapidly, whereas in others discharges extinguish when U_i is maintained for some time. Thus, the appropriate test procedure should be specified by the relevant technical committee.

Under no circumstances, however, shall the voltage applied exceed the rated short-duration power frequency withstand voltage applicable to the apparatus under test.

NOTE 2 In the case of high-voltage apparatus, there is some danger of damage from repeated voltage applications approaching the rated short-duration power frequency withstand voltage.

8.3.2 Determination of the partial discharge magnitude at a specified test voltage

8.3.2.1 Measurement without pre-stressing

The **partial discharge** magnitude in terms of the specified quantity is measured at a specified voltage, which can be well above the expected **partial discharge inception voltage**. The voltage is gradually increased from a low value to the specified value and maintained there for the specified time. As the magnitudes can change with time, the specified quantity shall be measured at the end of this time.

The magnitude of the **partial discharges** may also be measured and recorded while the voltage is being increased or reduced or throughout the entire test period.

8.3.2.2 Measurement with pre-stressing

The test is made by raising the test voltage from a value below the specified **partial discharge test voltage** up to a specified voltage exceeding this voltage. The voltage is then maintained for the specified time and, thereafter, gradually reduced to the specified **partial discharge test voltage**.

At this voltage level, the voltage is maintained for a specified time and, at the end of this time, the specified PD quantity is measured in a given time interval or throughout the specified time.

9 Measuring uncertainty and sensitivity

The magnitude, duration and **pulse repetition rate** of **PD pulses** can be greatly affected by the time of voltage application. Also, the measurement of different quantities related to **PD pulses** usually presents larger uncertainties than other measurements during high-voltage tests. Consequently, it can be difficult to confirm PD test data by repeating tests. This should be taken into consideration when specifying **partial discharge** acceptance tests.

The measurement of **apparent charge** q using a measuring system in accordance with the provisions of this standard and calibrated in accordance with the provisions of clauses 5 and 7, is considered to have a measuring uncertainty of $\pm 10\%$ or ± 1 pC, whichever is the greater.

The measurements are also affected by disturbances (clause 10) or **background noise**, which should be low enough to permit a sufficiently sensitive and accurate measurement of the **specified partial discharge magnitude**.

The minimum magnitude of PD quantities which can be measured in a particular test is in general limited by disturbances. Though these can effectively be eliminated by suitable techniques as described in annex G, additional limits are determined by the internal noise

levels of the measuring instruments and systems, by the physical dimensions and layout of the test circuit and the values of the test circuit parameters.

Another limit for the measurement of a minimum PD quantity is set by the capacitance ratio C_a/C_k and optimal values for the input impedance of the coupling device and its matching to the measuring instruments used. Highest sensitivity would be realized if $C_k \gg C_a$, a condition which is generally inconvenient to satisfy due to the additional loading of the high-voltage supply. Thus, the nominal value of C_k is limited for actual tests, but acceptable sensitivity is usually achieved with C_k about 1 nF or higher.

10 Disturbances

The measurements are affected by disturbances which should be low enough to permit a sufficiently sensitive and accurate measurement of the PD quantity to be monitored. As disturbances may coincide with **PD pulses** and as they are often superimposed on the measured quantities, the **background noise** level should preferably be less than 50 % of a specified permissible **partial discharge** magnitude, if not otherwise specified by a relevant technical committee. For acceptance tests and type tests on high-voltage equipment, the **background noise** level shall be recorded.

High readings that are clearly known to be caused by external disturbances may be neglected.

Signal gating by time window, polarity discrimination, or similar methods can result in the loss of true **partial discharge** signals if those signals occur concurrently with the disturbance or the gated-out (inhibited) part of the cycle. For this reason, the signal should not be blocked by the gate for more than 2 % of each test voltage period in alternating voltage systems, nor by more than 2 % of the cumulative test time in direct voltage systems.

If, however, several mains-synchronized interference sources per period are present, the blocking interval limit may be increased to 10 % of the test voltage period. Hence, this gating shall be set before the full test voltage is applied and these settings shall not be altered during the test. The relevant technical committee may decide on different limits for signal gating.

NOTE Nearby operation of large rectifiers or inverters can produce a particular type of regularly repeated disturbance, which is related to the transition of current in the rectifier or inverter elements.

Further information regarding disturbances and mitigation thereof is given in annex G.

11 Partial discharge measurements during tests with direct voltage

11.1 General

Test objects with solid or liquid impregnated insulation show very different **partial discharge** characteristics when tested with direct voltage compared with those with alternating voltage. The differences may be minor in objects with gaseous insulation.

Some of these differences are summarized as follows:

- the **discharge pulse repetition rate** may be very low for direct voltage applied to solid insulation, because the time interval between discharges at each discharge site is determined by the relaxation time constants of the insulation;
- numerous discharges may occur when the applied voltage is changed. In particular, polarity reversal during test can cause numerous discharges at low voltage, but subsequently the **pulse repetition rate** will decrease to the steady-state condition;
- in liquid insulation, motion of the liquid tends to reduce the relaxation time constants so that discharges are more frequent;
- the PD characteristics of test objects may be affected by ripple on the test voltage.

NOTE 1 With direct voltage, the effect of voltage changes may be pronounced because the stress distribution is no longer primarily determined by the volume or surface resistivities, as it would be under conditions of constant voltage.

NOTE 2 Specific PD magnitudes, pulse count limits and the duration of voltage application should be determined by the relevant technical committee.

11.2 PD quantities ~~related to partial discharges~~

~~In general, all quantities related to partial discharge pulses as specified in 3.3 are also applicable to tests with direct voltage. The instrument used to measure the apparent charge shall have a pulse train response that is independent of the repetition rate of the partial discharge pulses.~~ PD measurements with direct voltage should be based on the following quantities:

- apparent charge of each individual PD pulse occurring during a specified time interval Δt_i at constant test voltage, as defined in 3.3.1 (see Figure H.1a)).
- accumulated apparent charge of a PD pulse train occurring within a specified time interval Δt_i at constant test voltage, as defined in 3.12 (see Figure H.1b)).
- PD pulse count m of PD pulse trains as defined in 3.13 exceeding specified limits of the apparent charge magnitude q_m during a specified time interval Δt_i at constant test voltage level (see Figure H.2a)).
- PD pulse count m occurring within specified ranges of the apparent charge magnitude q_m for a specified time interval Δt_i at constant test voltage level (see Figure H.2b)).

To determine the PD pulse count m care should be taken so that noisy pulses are not counted to avoid misleading statistics. Thus before starting the actual PD measurement the background noise level in terms of pC shall be determined. Based on this the apparent charge threshold level shall be adjusted to at least twice the background noise.

Values for the PD quantities listed above shall be specified by the relevant Technical Committee.

11.3 Voltages related to partial discharges

11.3.1 Partial discharge inception and extinction voltages

The **partial discharge** inception and extinction voltages may be difficult to determine during tests with direct voltages as they are dependent on factors such as the voltage distributions under variable voltages, temperature and pressure. **Partial discharges** are more likely to occur during the initial application of voltage or during voltage changes and then become more intermittent as the voltage distribution becomes resistive.

Under certain conditions, the **partial discharges** can continue even after removal of the test voltage. This is valid particularly for combinations of solid, liquid and gaseous insulation.

NOTE In some cases, application of direct voltage to test objects with solid insulation will result in a conditioning process for the **partial discharges**. This is evidenced by PD count rates increasing and decreasing cyclically, with a constant applied voltage, until a conditioned state is reached after a long period.

11.3.2 Partial discharge test voltage

During application of the **partial discharge test voltage**, the test object should not exhibit **PD pulse** quantities exceeding a specified magnitude. Whereas for alternating voltages in general only **apparent charge magnitudes** are considered, for direct voltage tests also the number of **partial discharge pulses** exceeding a specified magnitude should not exceed a specified total during a specified time at the test voltage. It should be noted that single high-magnitude **PD pulses** can occur during the test.

11.4 Test circuits and measuring systems

~~In general, test circuits and measuring instruments used during tests with alternating voltages can also be used with direct voltages.~~

~~Since occurrence of **partial discharge** pulses is intermittent, pulse counting devices or **digital partial discharge instruments** should be used.~~

~~NOTE 1—When the **pulse repetition rate** n is low, pulse counting devices which display the number of discharges in different, selectable magnitude ranges over each time interval are useful.~~

~~NOTE 2—The response of the instrument to different **pulse repetition frequencies** given in 4.3.3 is not applicable to testing with direct voltage.~~

To measure the apparent charge according to 3.3.1, the basic circuits shown in Figure 1a to Figure 1d shall be used in conjunction with either analogue or digital PD measuring systems, as described in 4.3 and 4.4 and Annex E. The PD instruments applied shall have a pulse train response that is independent of the repetition rate of PD pulses.

To indicate the PD pulse count m , the application of either digital PD instruments with integrated pulse counters or analogue PD instruments in combination with suitable pulse counting devices is recommended.

The calibration procedures recommended in Clause 5 and the calibrators specified in Clause 6 can also be applied for testing with direct voltage.

11.5 Tests

11.5.1 Choice of test procedures

The procedures described for alternating voltage to determine the **PD inception and extinction voltages** are generally not applicable for tests with direct voltage as the stress on the dielectric during voltage rise and decrease is different from that during the period when the voltage is constant.

There is no accepted general method for the determination of **partial discharge** quantities during tests with direct voltage. Whatever method is used, it is important to note that magnitudes related to **partial discharges** at the beginning of the voltage application can be different from the magnitudes measured after a considerable time at the same test voltage.

11.5.2 Disturbances

The information given in clause 10 is also applicable for tests with direct voltages. However, in this case, a particular type of regularly repeated disturbance can occur, which is related to the commutation of current in the rectifier elements of the direct voltage source.

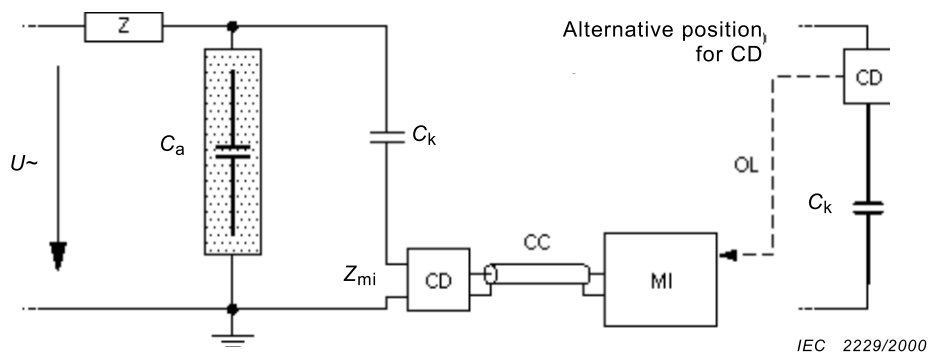


Figure 1a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor

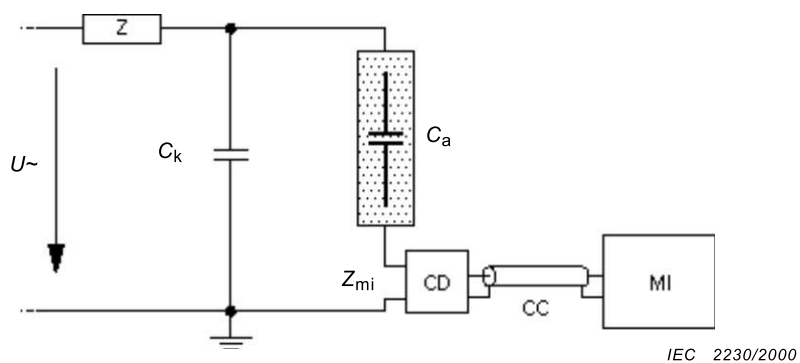


Figure 1b – Coupling device CD in series with the test object

Components

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

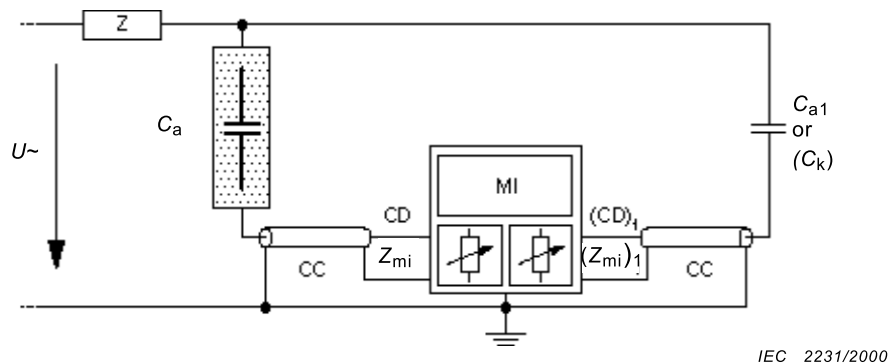


Figure 1c – Balanced circuit arrangement

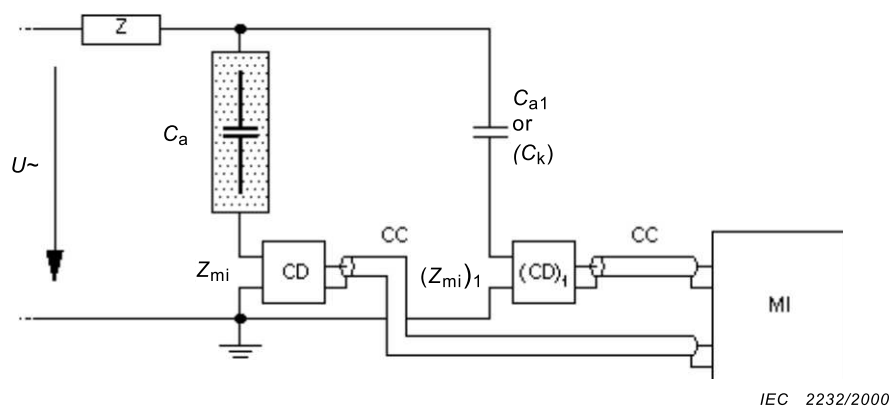
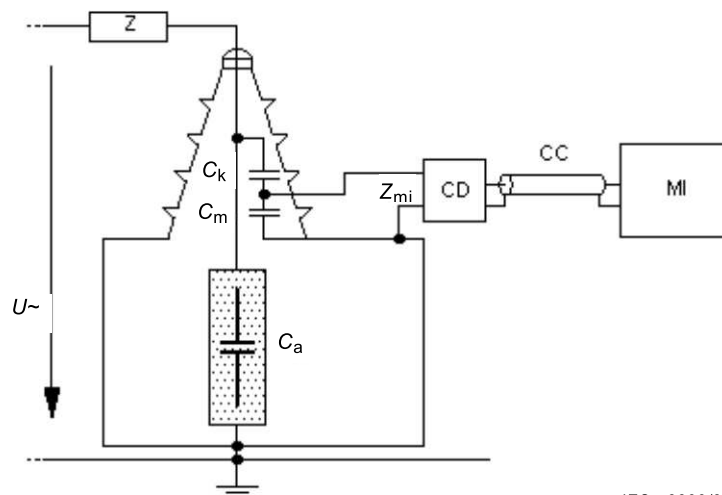


Figure 1d – Polarity discrimination circuit arrangement

Components

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

Figure 1 – Basic partial discharge test circuits

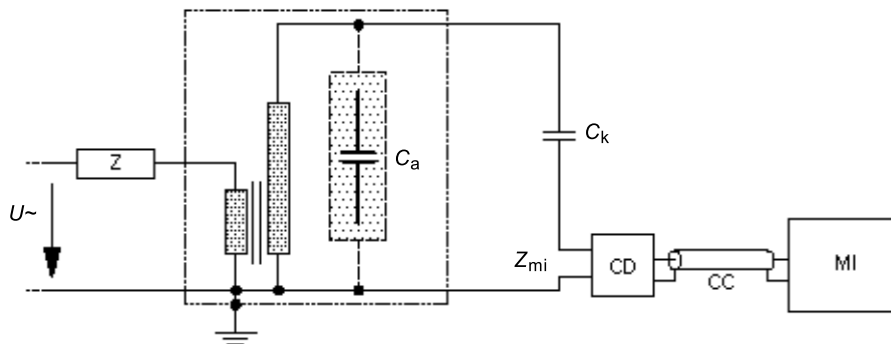


IEC 2233/2000

Components

- $U_{\sim}$ low- or high-voltage supply
- Z_{mi} input impedance of measuring system
- CC connecting cable
- C_k coupling capacitor
- C_m capacitance in parallel to Z_{mi}
- CD coupling device
- C_a test object
- MI measuring instrument
- Z filter

Figure 2 – Test circuit for measurement at a tapping of a bushing



IEC 2234/2000

Components

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

Figure 3 – Test circuit for measuring self-excited test objects

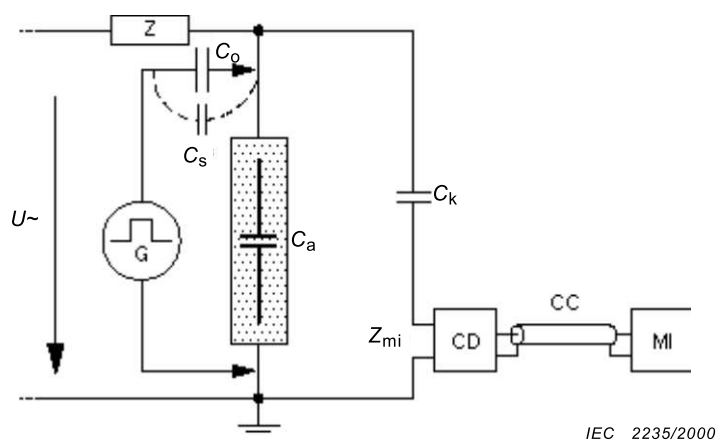


Figure 4a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor

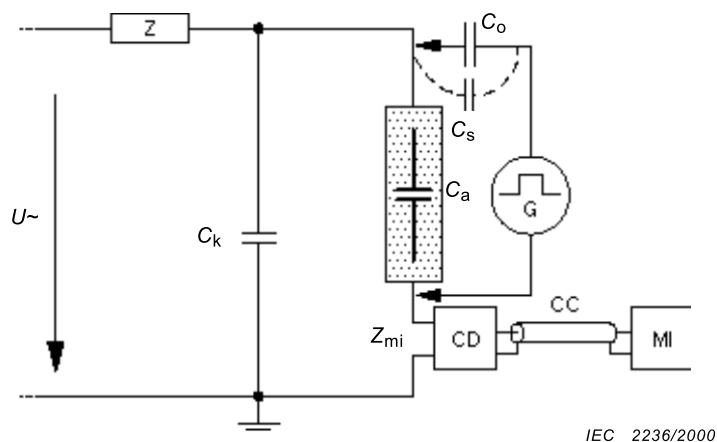
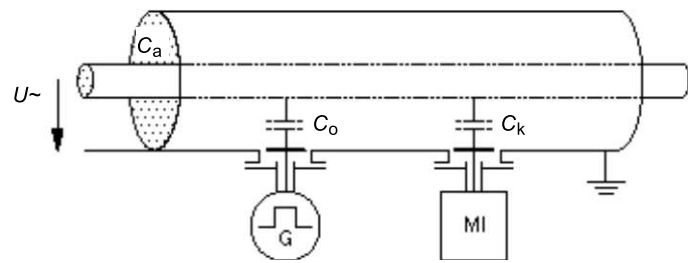


Figure 4b – Coupling device CD in series with the test object

Components

$U_{\sim}$	high-voltage supply
G	step voltage generator
C_0	calibration capacitor
Z_{mi}	input impedance of measuring system
CC	connecting cable
C_a	test object
C_k	coupling capacitor
CD	coupling device
C_s	stray capacitance
MI	measuring instrument
Z	filter



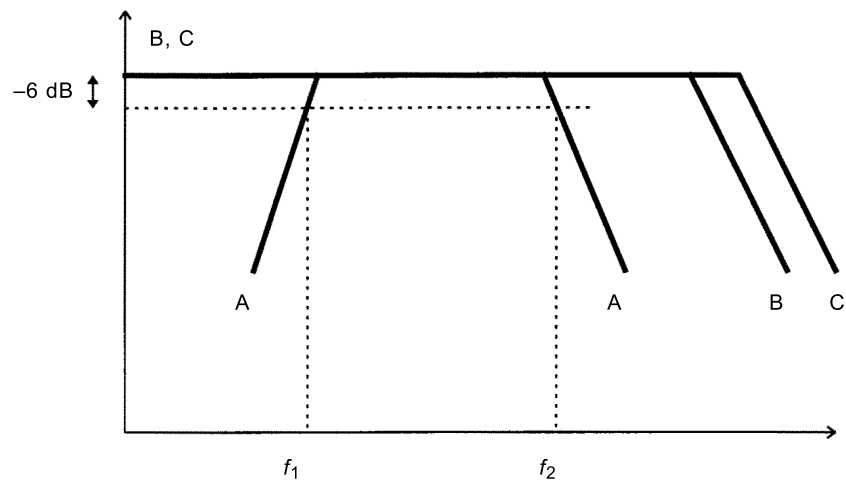
IEC 2237/2000

Components

- $U_{\sim}$ high-voltage supply
- MI measuring instrument
- C_a test object
- C_k coupling capacitor
- C_o calibration capacitor
- G step voltage generator

Figure 4c – Test circuit for measurement in GIS

Figure 4 – Connections for the calibration of the complete test arrangement

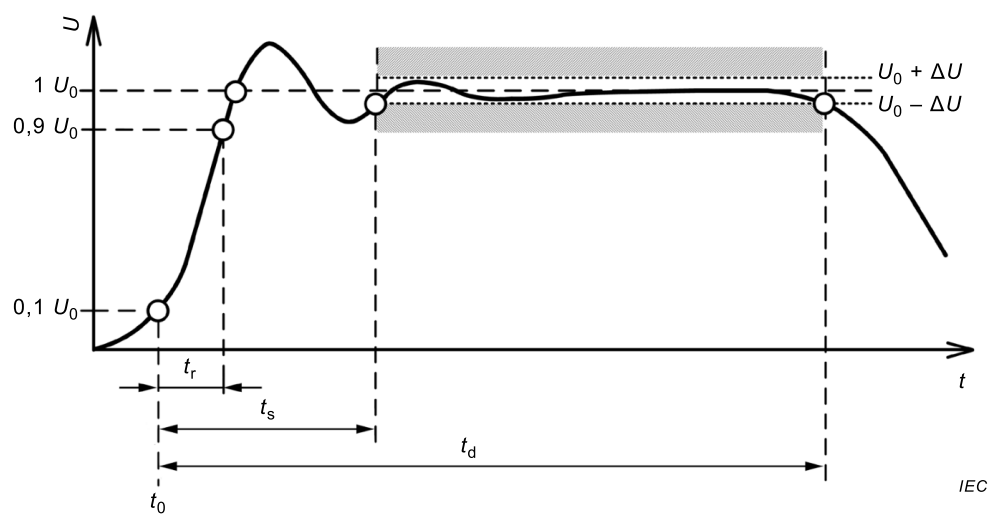


IEC 2238/2000

Key

- A bandpass of the measuring system
- B amplitude frequency spectrum of the PD pulse
- C amplitude frequency spectrum of calibration pulse
- f_1 lower limit frequency
- f_2 upper limit frequency

Figure 5 – Correct relationship between amplitude and frequency to minimize integration errors for a wide-band system



Key

U_0	step voltage magnitude	t_d	step voltage duration
t_0	origin of the step voltage	$(t_d - t_s)$	steady state duration
t_r	rise time of the step voltage	ΔU	absolute voltage deviation from U_0
t_s	time to steady state		

Figure 6 – Step voltage parameters of a calibrator

Annex A (normative)

Performance test on a calibrator

A.1 General

Calibrators as described in clause 6 are used to evaluate the **scale factor** k of a measuring system used to quantify PD quantities. As the characteristics of such calibrators can change with time of application, periodical checks of these characteristics (rise time t_r , accuracy of quoted charge q) should be made at regular time intervals and after repairs. The following procedures are proposed to check such calibrators.

A.2 Reference method

The charge produced by the calibrator shall be compared with the charge produced by a reference calibrator. The charge shall be measured with the same measuring system in both cases.

The reference calibrator shall be traceable to national standards.

NOTE The measuring system used may be a PD measuring system in accordance with this standard or a digital oscilloscope with capabilities of integration (see figure A.1a), or a device with electronic integration.

The result of the test shall be determined as the mean of at least 10 measurements.

A.3 Alternative Numerical integration method

As shown in figure A.1a, with the output terminals of the calibrator under test loaded by a resistor R_m , the voltage $u_m(t)$ can be measured by a calibrated digital oscilloscope of **bandwidth** not less than 50 MHz. The value of R_m should be selected between 50 Ω and 200 Ω . Connections between the calibrator and R_m as well as to the oscilloscope shall be short. The input resistance of the oscilloscope can contribute to the value of R_m . The test circuit, including the measuring resistor R_m , shall be such that oscillations on the recorded waveform have decayed to less than 2 % of the average step magnitude within the time used for the integration.

The result of the test shall be determined as the mean of at least 10 measurements.

With reference to figure A.1a, the charge q generated by the calibrator is

$$q = \int i(t)dt = \frac{1}{R_m} \int u_m(t)dt$$

where

$i(t)$ is the current pulse generated by the calibrator;

$u_m(t)$ the voltage pulse measured by the oscilloscope.

Therefore, the accuracy of quantifying q is related to the accuracy of the integration procedure and to the accuracy of the value of R_m .

In figure A.1b, two typical records for $u_m(t)$ are provided for a calibrator with $C_0 = 141$ pF and $R_m = 33$ Ω and $R_m = 200$ Ω respectively. Note that too low R_m values can lead to an oscillating voltage pulse and can result in larger errors in integration (and hence to unacceptable uncertainty).

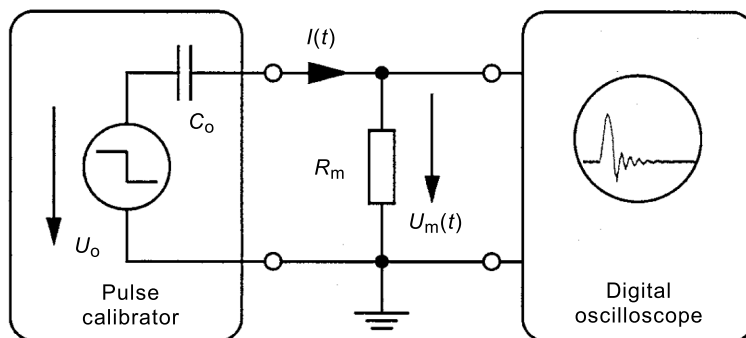
The actual rise-time t_r of the calibrator is approximately equal to the duration of the first (positive) voltage swing, if $R_m C_0 < t_r$. This inequality is, in general, always fulfilled for low R_m -values, if also $C_0 \leq 150$ pF.

The digitizer should be verified with a suitable method, for example the one outlined in A.2, on all ranges used in order to verify that it does not exhibit an overly large creepage in the response to fast steps. A creeping response can lead to large uncertainty for the charge calculated with numerical integration.

NOTE Integration of $u_m(t)$ can in general be made by built-in algorithms of digital oscilloscopes where $\int u_m(t) dt$ is calculated. As the accuracy of this integration procedure can be unknown, it is proposed to calibrate the oscilloscope as well as the algorithm used to compute q by replacing the calibrator under test by a step voltage source of amplitude U_{ref} in series with a reference capacitor C_{ref} . Consequently, current pulses $i(t)$ are produced with similar shape and charge to that of the pulses from the calibrator under test. As then

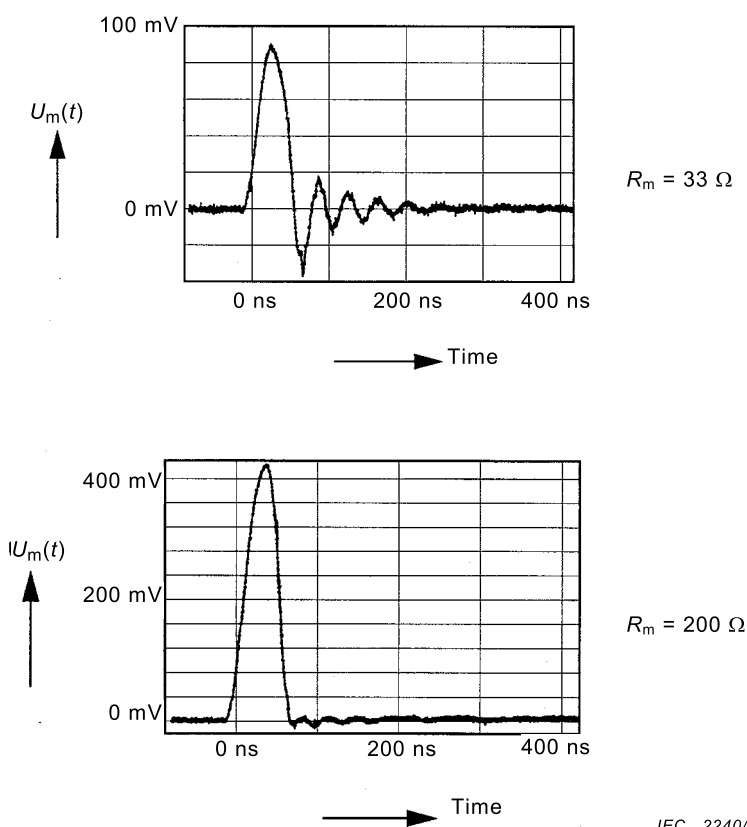
$$q_{ref} = U_{ref} \times C_{ref}$$

this reference charge magnitude q_{ref} is known with an uncertainty which is given by the uncertainties of U_{ref} and C_{ref} only. q_{ref} may thus be used to check the procedure as described before.



IEC 2239/2000

Figure A.1a – Measuring circuit



IEC 2240/2000

Figure A.1b – Calibration pulses $u_m(t)$ of a typical calibrator which is fed to measuring resistances $R_m = 33 \, \Omega$ and $R_m = 200 \, \Omega$ respectively ($q = 100 \, \text{pC}$)

Figure A.1 – Calibration of pulse calibrators

The voltage and time parameters of the step voltage specified in 6.1 and in Figure 6 can be determined if the current through the calibration capacitor C_0 caused by the voltage step U_0 is measured by means of a resistive shunt R_m (see Figure A.2). For example, this shunt can be a $50 \, \Omega$ feed-through low-inductive termination. Under this condition the calibrating charge can be determined based on a numerical integration of the time dependent voltage signal $u_r(t)$ appearing across R_m . Care shall be taken on the offset voltage which shall be adjusted exactly to zero to avoid an integration error.

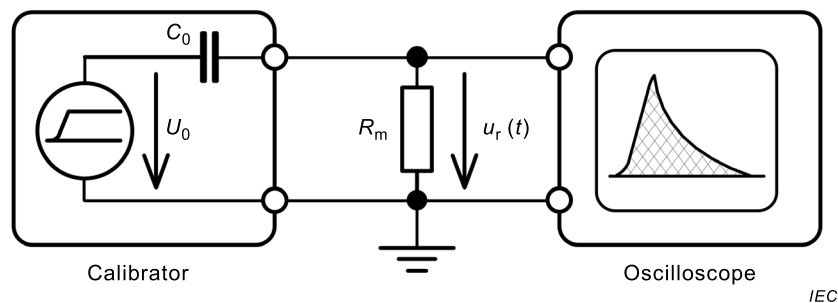


Figure A.2 – Setup for performance tests of calibrators using the numerical integration

A.4 Step voltage response method

The charge q_0 generated by the calibrator can also be determined by measuring the transient voltage appearing across a measuring capacitor C_m using the circuit shown in Figure A.3 and [1]¹. As the series connection of C_0 and C_m comprises a voltage divider, the magnitude U_c of the time dependent voltage $u_c(t)$, which occurs across C_m at steady state condition, is direct proportional to the step voltage magnitude U_0 generated by the calibrator:

$$U_c = U_0 \times C_0 / (C_0 + C_m)$$

The charge q_c transferred from the calibrator to the measuring capacitor C_m can thus be expressed by:

$$q_c = q_0 / (1 + C_0 / C_m)$$

Under the condition $C_m \gg C_0$ the charge q_c injected into C_m becomes equal to that charge amount q_0 created by the calibrator:

$$q_0 \approx q_c \approx U_c \times C_m$$

To ensure a measurement uncertainty below 3 %, the capacitance of C_m should be selected not below 10 nF including both the capacitance of the connecting cable and the input capacitance of the oscilloscope. Under this condition a calibrating charge of $q_0 = 100$ pC would cause a step voltage magnitude of $U_c \approx 10$ mV which can be measured at the desired uncertainty using commercially available digital oscilloscopes, in particular if the averaging mode is adopted. For calibrating charges $q_0 < 100$ pC an active integration of the total current flowing through C_0 is recommended to enhance the signal magnitude being recorded by the oscilloscope in order to ensure the specified measuring uncertainty. For more information in this respect see reference [1].

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

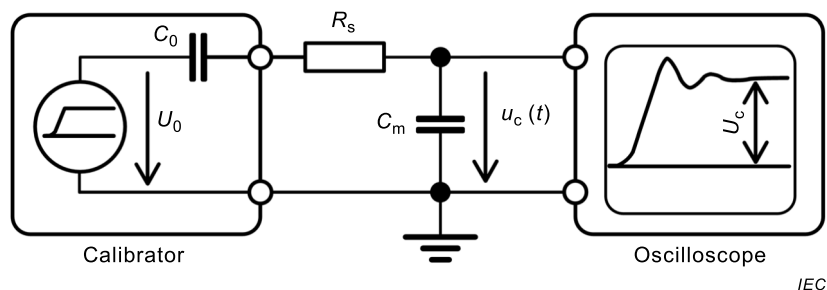
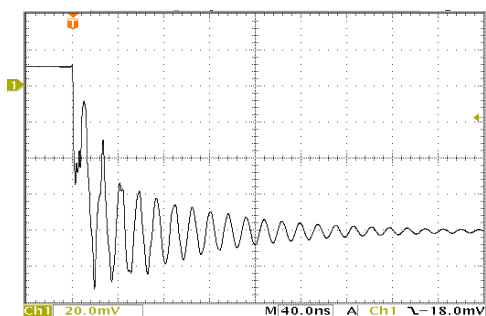


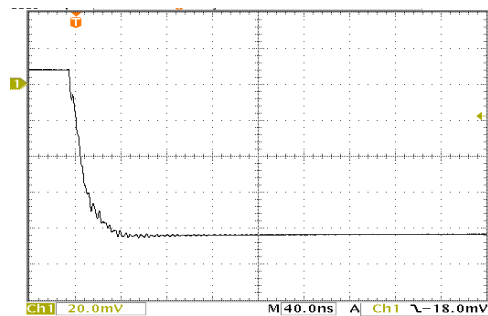
Figure A.3 – Setup for performance tests of calibrators using the step voltage method

The circuit shown in Figure A.3 can also be used for the determination of the significant time parameters presented in 6.1 and illustrated in Figure 6. As the series connection of C_0 and C_m comprises a voltage divider, the time dependent voltage $u_c(t)$ appearing across C_m is direct proportional to the time dependent voltage generated by the calibrator. For such measurements C_m should also be chosen in the order of 10 nF, as recommended for the determination of the calibrating charge. Moreover, C_m should be connected as close as possible to the input of the oscilloscope. Otherwise superimposed oscillations might be excited, as displayed in Figure A.4. To attenuate such disturbing oscillations, an additional series resistor R_s in the order of 100 Ω should be connected as closely as possible to the output of the calibrator. Moreover, the connection leads between calibrator and oscilloscope should not exceed a length of 1 m.



IEC

a) $R_s = 10 \Omega$



IEC

b) $R_s = 100 \Omega$

voltage scale: 20 mV/div; time scale: 40 ns/div

Figure A.4 – Impact of the series resistor R_s on the step voltage response appearing across C_m using the circuit according to Figure A.3, where the oscilloscope was connected to the calibrator via a 50 Ω measuring cable of 1 m long.

Annex B (informative)

Test circuits

Apart from energizing the test object with test voltage, the essential task of a **partial discharge** test circuit is to provide appropriate conditions for the detection of **partial discharges** within the test object at a specified **partial discharge test voltage**. This is best achieved when the various components composing the test circuit are co-ordinated so that the current pulses resulting from **partial discharges** have magnitudes and shapes that are most favourable for detection.

There are four basic circuits from which all other test circuits for the detection and measurement of **partial discharges** are derived. These circuits, which are shown in figures 1a to 1d, are briefly described below.

Note that, for these basic circuits, the minimum magnitude of any PD quantity which can be measured is dependent on the ratio C_k/C_a (see clause 9) and limited by disturbances.

The coupling device in the circuit of figure 1a is placed at the earth side of the coupling capacitor (but see note in 4.2). This arrangement has the advantage of being suitable for test objects having one earthed terminal, the test object being connected directly between the high-voltage source and earth. The filter or impedance between the test object and the high-voltage source serves to attenuate disturbances from the high-voltage source. It also increases sensitivity in the measurements by providing blocking of the PD current pulses from within the test object which would otherwise partly be bypassed through the source impedance.

In the circuit of figure 1b, the coupling device is placed at the earth side of the test object. The low-voltage side of the test object must therefore be isolated from earth (but see note in 4.2).

A protection circuit, designed to withstand the breakdown current in test objects which fail during test, should be combined with the coupling device.

For test circuits with low capacitance components, the circuit of figure 1b can provide a better sensitivity compared to that of figure 1a.

NOTE A circuit without a discrete coupling capacitor is sometimes used. The arrangement is similar to that shown in figure 1b, but the function of C_k is performed by stray capacitances. This arrangement may be suitable if the capacitance of the test object is small compared with the stray capacitance to earth. It may also be satisfactory if the terminal capacitance of the testing transformer is at least of the same order as C_a , provided that the filter is omitted.

The arrangement shown in figure 1c comprises a balanced circuit in which the instrument is connected between two coupling devices. The low-voltage sides of both the test object and the coupling capacitor must be isolated from earth (but see note in 4.2). Their capacitances need not be equal but should preferably be of the same order, and for the best results their dielectric loss factors, particularly in relation to their frequency dependence, should be similar. The circuit, which is based on rejecting common-mode currents through C_a and C_{a1} but amplifying **partial discharge** currents originating in the test object, has the merit of partially rejecting external disturbances. To adjust this rejection an artificial discharge source may be coupled between the high-voltage terminal and earth.

The variable input impedances of the balancing coupling devices are then adjusted until a minimum reading of the instrument is obtained. Rejection ratios of about 3 (for totally unequal test objects) to 1 000 or even higher (for identical, well-screened test objects) are possible.

The arrangement shown in figure 1d comprises a combination of the two basic circuits of figures 1a and 1b. It includes two capacitances, either or both of which may be test objects. These are connected to two coupling devices. In the connection shown, the low-voltage side of both components is isolated from earth (but see note in 4.2). The two capacitances need not be equal but should preferably be of the same order. The principle is not based upon a balanced circuit, but makes a comparison of the direction of flow of pulse signals detected in the two coupling devices. (Common-mode signals will be detected as having equal polarities; **partial discharge** signals from either component will be detected as having opposite polarities.) A gating system can then be used to discriminate between **partial discharge pulses** originating in the test object and disturbances from other parts of the test circuit.

From the basic circuits, many variations can be derived. The arrangement shown in figure 2, applicable to test objects fitted with capacitance graded bushings, is equivalent to that of figure 1a except that the bushing capacitance is used in place of the coupling capacitor C_k . If the bushing has a tapping, the coupling device is connected to this terminal; in this case, a relatively large capacitance C_m appears across the input impedance of the coupling device which can affect the sensitivity of the measurement.

Figure 3 shows a test circuit in which the test voltage is induced in the test object, for example a power transformer or an instrument transformer. In principle, it is equivalent to the arrangement shown in figure 1a.

Annex C (informative)

Measurements on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and on test objects with windings

C.1 General

In principle, any of the test circuits described in annex B can be used for these test objects, that is for test objects with distributed capacitive and inductive elements. For some of these test objects, the test voltage may be induced; for example, the high-voltage winding of a transformer may be excited from the low-voltage winding (see figure 3).

A detailed treatment of **partial discharge** measurements on objects with distributed elements, in which travelling wave and complex capacitive and inductive coupling phenomena take place, is beyond the scope of this standard. The following points, however, are of special importance and are particularly drawn to the attention of the relevant technical committees.

C.2 Attenuation and distortion phenomena

Due to attenuation and distortion of travelling waves within windings or along gas insulated switchgear and cables, the magnitude of **apparent charge** which is recorded at a terminal of the test object can differ in magnitude from that at the point where it originates. This difference is, in general, correlated with the band-pass characteristic of the measuring system. It can be possible to assess the effects by comparing the amplitude (and if possible the waveform) of the response to a calibration pulse when injected at the remote end of the test object and when injected at the end connected to the coupling device.

C.3 Resonance phenomena, reflections

The magnitude recorded at a terminal of a large power capacitor, winding, gas insulated switchgear or cable under test can be modified by resonance phenomena or by reflections at the terminals. This is especially important if the instrument used has a narrow-band frequency response. Reflection phenomena (for example, in cables) can be taken into account using special calibration techniques such as the use of double-pulse generators or their adverse effects avoided by the use of special techniques.

NOTE In PD measurements on large power capacitors there can also be problems to reach the desired sensitivity of the measurement.

C.4 Location of discharges

Various methods can be used to locate **partial discharges** in test objects with distributed elements. Some of these methods are based on simultaneous measurements at two or more terminals of the test object. Non-electrical methods as discussed in annex F may also be applicable.

Annex D (informative)

The use of radio disturbance (interference) meters for the detection of partial discharges

Instruments such as those specified by the International Special Committee on Radio Disturbance ("Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques, CISPR") of the IEC or similar organizations are in common use. Such instruments are often able to measure "radio disturbance voltages, currents and fields" (see CISPR 16-1:1993) within a large frequency range, based on different treatments of the input quantity. Within this standard, however, the expression "**radio disturbance meter**" is applied only for a specific radio disturbance (interference) measuring apparatus, which is specified for a frequency band of 150 kHz to 30 MHz (band B) and which fulfils the requirements for a quasi-peak measuring receiver.

The response of such **radio disturbance meters** to input voltage pulses of very short duration is first of all determined by the very well-defined overall passband-selectivity, i.e. the bandpass filter characteristics with a **bandwidth** Δf which is independent of the **midband frequency** f_m . This response is then weighted by a quasi-peak measuring circuit with a specified electrical charging time constant τ_1 and an electrical discharging time constant τ_2 , and by an output voltmeter, which, for conventional instruments, is of moving coil type, critically damped and having a mechanical time constant τ_3 . More modern instrumentation provides equivalent readings based on sophisticated electronic circuits.

For a constant and purely resistive input impedance, therefore, the characteristic of such instruments makes them respond basically to the charge of an input current pulse of very short duration, whose amplitude frequency spectrum is constant for **midband frequency** f_m used during the measurement. Due to the quasi-peak measuring circuit of this instrument, impulses having the same charge but different **pulse repetition rate**, will result in different readings on the instrument.

For very short duration and regularly repeated input current pulses, each of charge q , the meter reading U_{RDV} is given by:

$$U_{RDV} = \frac{q \times \Delta f \times Z_m \times f(N)}{k_i}$$

where

N is the pulse repetition frequency;

$f(N)$ is the non-linear function of N (see figure D.1);

Δf is the instrument bandwidth (at 6 dB);

Z_m is the value of a purely resistive measuring input impedance of the instrument;

k_i is the **scale factor** for the instrument ($= q/U_{RDV}$).

The **pulse repetition frequency** N is not equivalent to the **pulse repetition rate** n .

A **radio disturbance meter**, if designed as a quasi-peak voltmeter and specified for the frequency band B (0,15 MHz to 30 MHz) will have a **bandwidth** Δf of 9 kHz at 6 dB and time constants of $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms and $\tau_3 = 160$ ms.

For this instrument, short and constant pulses of 0,16 μ Vs applied to the instrument with a regular **pulse repetition frequency** N of 100 per second will give the same reading as a sine-wave input of 1 000 μ V r.m.s. at the tuned frequency. The variation of the reading with N for

this instrument is shown in figure D.1. Quantitatively, these instruments read $1\ \mu\text{V}$ for $Z_m = 60\ \Omega$, $N = 100$ and $q \approx 3\ \text{pC}$.

NOTE There is no generally applicable conversion factor between readings of **radio disturbance voltage**, as measured with a quasi-peak responding meter, and the **apparent charge**.

If **radio disturbance meters** of quasi-peak type are used for PD measurements, a coupling device as defined in 4.3.2 has to be used in combination with this instrument. Consequently, it should be calibrated and checked in the actual circuit by using **partial discharge** calibrators according to clause 5. It is recommended that this be done by the application of regularly repeated pulses q_0 having a **pulse repetition frequency** N equal to approximately twice the frequency of the test voltage.

This will enable the instrument to give an approximation of the value of the **apparent charge** during an actual test near the inception voltage where the number of pulses per cycle is small. The **apparent charge magnitude** under these conditions is then approximately equal to q_0 multiplied by the ratio of the instrument reading during the test to that during the calibration. This relationship also applies over a limited range of **pulse repetition rates** where the variation of readings due to the factor $f(N)$ is small.

Whenever measurements are performed with a **radio disturbance meter**, the records from the test should include the readings obtained in microvolts and the determined equivalent **apparent charge** in picocoulombs together with relevant information concerning the determination of the **scale factor**.

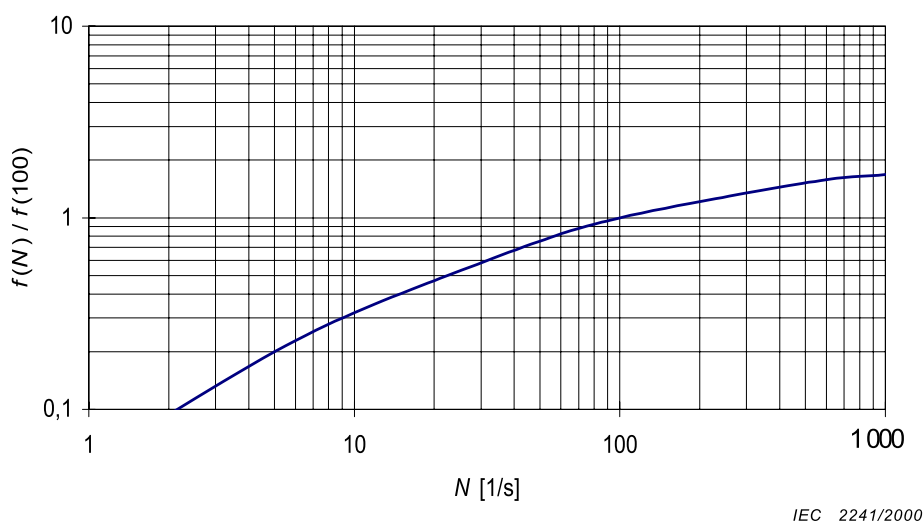


Figure D.1 – Variation of CISPR radio disturbance meter reading $f(N)$ with repetition frequency N , for constant pulses

Annex E (informative)

~~Guidelines to digital acquisition of partial discharge quantities~~ PD measuring instruments

E.1 General

For processing the PD signal captured from the terminals of the test object by means of a coupling device, comprising a coupling capacitor in combination with a measuring impedance, both the analogue or digital PD signal processing can be applied. The major units of both analogue and digital PD instruments are shown in the Figures E.2 and E.3 respectively.

Additionally to the PD pulse trains, an AC signal derived from the test voltage should be digitized to enable the display of characteristic phase-resolved PD patterns, as displayed in Figure E.4

The main objective of applying digital techniques to PD measurements is based on recording a **PD pulse** quantified by at least its **apparent charge q_i** and its instantaneous value of the test voltage u_i occurring at the time instant t_i or, for alternating voltages, phase angle of occurrence ϕ_i within a voltage cycle of the test voltage. As, however, the quality of hardware and software used can limit the accuracy and resolution of the measurement of these parameters, this annex provides recommendations which are relevant for capturing and registration of the discharge sequences.

The main objective can be subdivided in two sub-objectives:

- the recording, storage and evaluation of at least one or more of the **PD pulses** related quantities;
- the post-processing of the recorded data to evaluate and to display additional parameters and dependencies (for example, statistical data of the PD activity within time-windows or in the course of time; application of numerical techniques to reduce the disturbance level; presentation of results by graphical displays; evaluation of parameters, which may be used for an in-depth analysis of the insulation quality of the test object, etc.).

NOTE Digital measuring systems are often supplemented by computers to aid the storage and evaluation of quantities related to **PD pulses**.

This second sub-objective is not discussed in this standard. However, the attention of the technical committees is drawn to these possibilities.

In the case of time behaviour analysis of PD quantities, a compression of recorded data can be applied. For this purpose, different data reduction methods can be used. Manufacturers of digital systems should, however, indicate the principles used for data compression.

E.2 Instructions for processing analogue apparent charge signals

The main feature of a **digital PD-instrument** is its ability to process the individual response signals of the analogue **apparent charge** instruments. In general, the peak value of these response signals can be assumed to be proportional to the individual charge q_i of a PD current pulse. Whereas for analogue instruments these peak values are displayed by oscilloscopes or peak voltmeters, the digital instrument must quantize and store, with adequate accuracy, the individual peak values q_i (and polarities, if possible) together with time t_i or **phase angle ϕ_i** of occurrence. As the shape of a response signal is strongly dependent on the measuring system characteristics and somewhat dependent on the shape of the individual PD current pulse, the processing procedure must be suited to the shape of the response signals, so that it can recognize the (positive or negative) peak value which can be assumed to be proportional to the individual charge q_i of the PD event.

To demonstrate this problem, in figure E.1 three output voltage signals caused by two consecutive **partial discharge** phenomena are shown. Figures E.1a and E.1b show output signals of a typical wide-band measuring system, the frequency characteristics of which are provided in the figure caption. The output signals of figure E.1c are typical for a simple narrow-band measuring system with $\Delta f \approx 10$ kHz and $f_m \approx 75$ kHz, for which the response is nearly symmetrical with respect to the voltage baseline. Though none of the three responses are yet significantly influenced by **superposition error**, i.e. the resolution time T_r is still adequate for both instruments, correct evaluation of the first peak's magnitude and polarity becomes difficult, as several peaks of the signal with different polarity are present. For wide-band systems, this first peak is often used to determine both q and the polarity of **partial discharge** current pulse. For the narrow-band response of figure E.1c, polarity information is generally indeterminate, and the largest peak of the response is the best measure of q . For both systems, however, only one peak (or q_i) value shall be quantized and recorded as the **apparent charge** value within the **pulse resolution time** T_r of the measuring system.

Figures E.1a and E.1b demonstrate a difficulty sometimes encountered with wide-band measuring systems: the duration and shape of a PD input current pulse, which is influenced by the discharge mechanism and the test object design, can be such that the second peak of the response signal is of larger magnitude than the first peak. Polarity-recognition as well as correct capturing of the first peak-amplitude is, therefore, difficult in such situations and the response of a particular manufacturer's PD instrument will depend on its design. Manufacturers of digital PD instruments should indicate the principle used to acquire, quantize and to record the correct magnitudes and polarities. The manufacturer shall also demonstrate proper function of the instruments by special test procedures.

E.3 Recommendations for recording test voltage, phase angle ϕ_i and time t_i of occurrence of a PD pulse

To identify the shape of a power frequency test voltage $u(t)$, the digital instrument should quantize the test voltage at least during those time-periods during which q_i -values are recorded. Continuous quantization of every period of the test voltage is, however, recommended.

As the phase ϕ_i or time instant t_i of alternating voltage systems has to be quantified with reference to the occurrence of the positive zero-crossing of the test voltage $u(t)$, it is necessary that the measuring system gives a true representation of the phase of the test voltage.

If the deviation of the instantaneous value of the test voltage, as read by the digital **partial discharge** instrument, from the instantaneous value read by a reference measuring system is less than 5 % of the peak value of the voltage, the digital instrument is also deemed able to record the phase of the test voltage. The appropriate **scale factors** for the two voltage measuring systems shall have been applied. The reference measuring system shall consist of a suitable instrument connected to the low-voltage arm of a voltage divider approved in accordance with IEC 60060-2 for alternating voltage. It should be independently demonstrated that the reference measuring system has a phase error less than 5 degrees.

For quantization of the test voltage, a rated resolution of at least 8 bits is recommended. The sampling rate of the quantization shall be at least 100 samples per cycle of the power frequency test voltage or 4 000 samples per second for direct test voltages. Since periodic sampling is recommended, interpolation may be used to determine test voltage values u_i , which occur at specific instants of time t_i between samples.

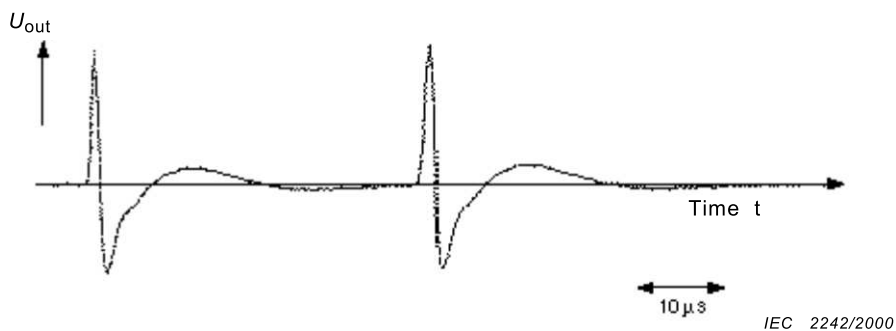


Figure E.1a – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, short-duration input pulse

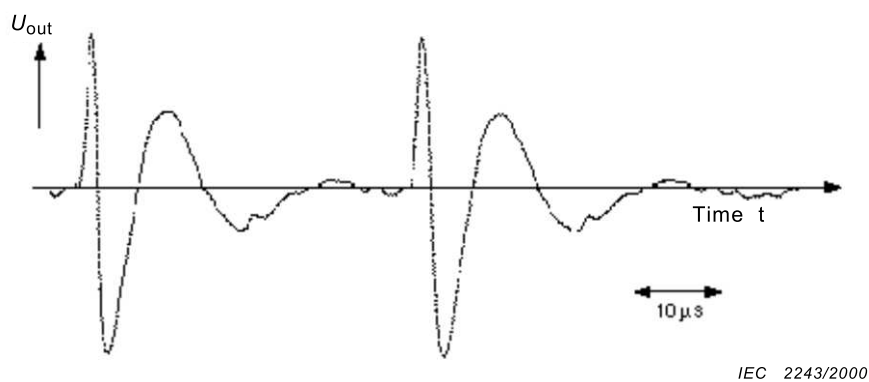


Figure E.1b – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, lengthened input pulse

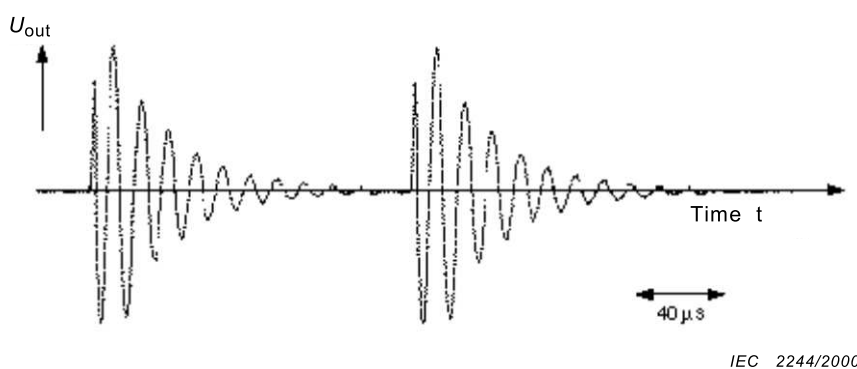
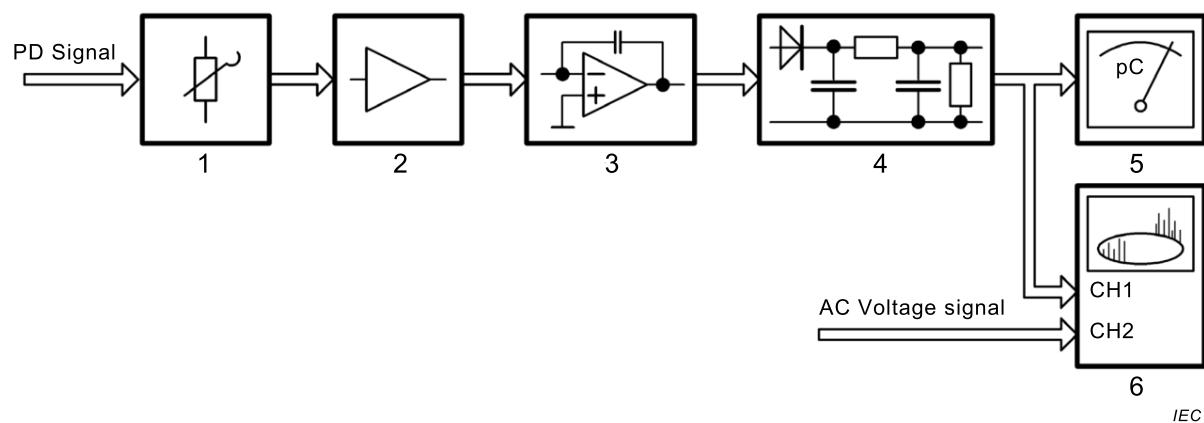


Figure E.1c – $\Delta f = 10$ kHz; $f_m = 75$ kHz

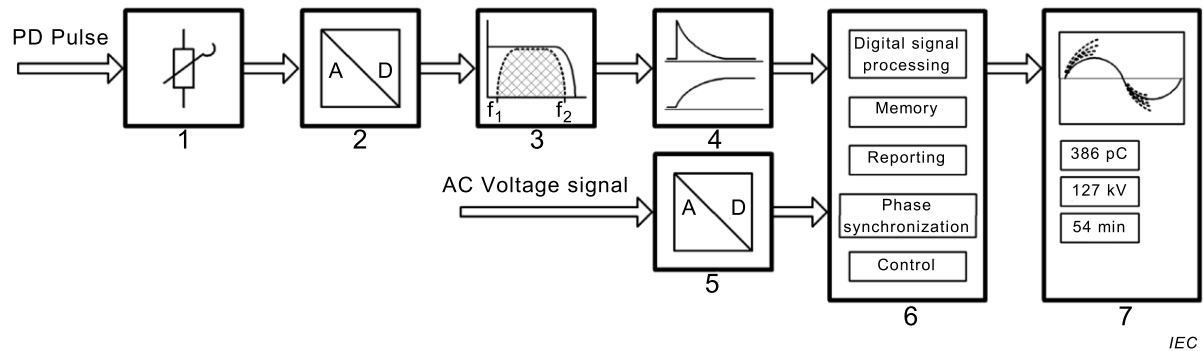
Figure E.1 – Output voltage signals U_{out} of two different PD measuring systems for apparent charge (double pulse)



Key

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Attenuator | 4 | Peak detector and evaluation unit |
| 2 | Amplifier | 5 | Reading instrument |
| 3 | Electronic Integrator | 6 | Visualization unit |

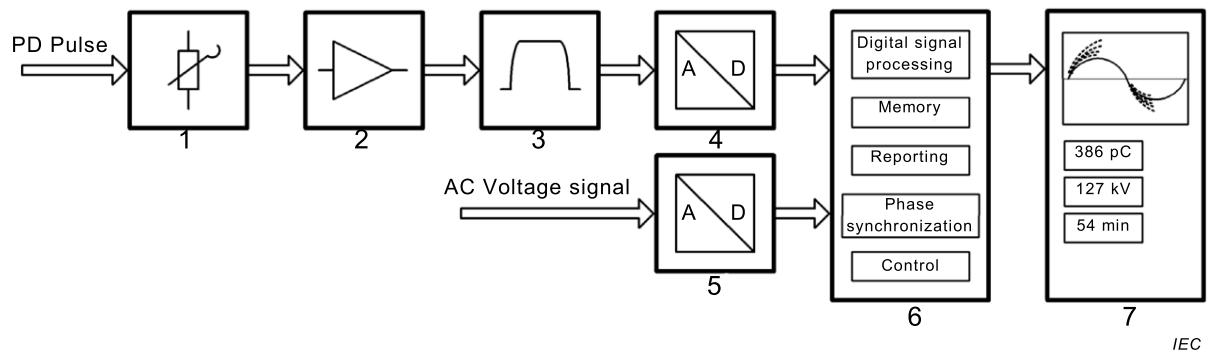
Figure E.2 – Block diagram of an analogue PD instrument equipped with an electronic integrator



Key

- | | | | |
|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Attenuator | 4 | Numerical integrator |
| 2 | A/D converter for PD pulses voltage | 5 | A/D converter for AC |
| 3 | Digital band-pass filter | 6 | Acquisition unit |
| | | 7 | Evaluation and visualization unit |

a) Direct A/D conversion of the input PD pulses

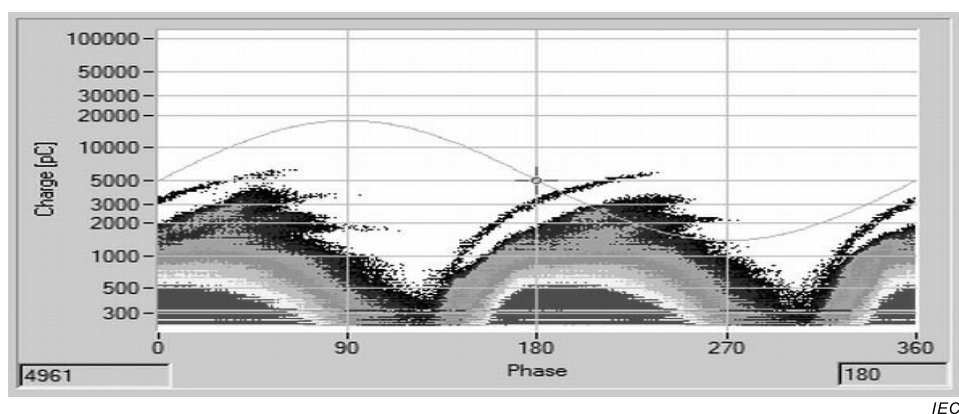


Key

- | | | | |
|---|------------------|---|--|
| 1 | Attenuator | 4 | A/D converter for apparent charge pulses |
| 2 | Amplifier | 5 | A/D converter for AC voltage signal |
| 3 | Band-pass filter | 6 | Acquisition unit |
| | | 7 | Evaluation and visualization unit |

b) A/D conversion after the integration of the input PD pulses by means of a band-pass filter has been performed

Figure E.3 – Block diagram of digital PD instruments



NOTE The PD pulses occurring during the negative half-cycle of the test voltage have been inverted which appear thus like positive pulses. Due to the large scattering PD magnitudes the logarithmic display mode has been used.

Figure E.4 – Example for a phase-resolved PD pattern

Annex F (informative)

Non-electrical methods of PD detection

F.1 General

Non-electrical methods of **partial discharge** detection include acoustical, optical and chemical methods and also, where practicable, the subsequent observation of the effects of any discharges on the test object.

In general, these methods are not suitable for quantitative measurement of **partial discharge** quantities as defined in this standard, but they are essentially used to detect and/or to locate the discharges.

F.2 Acoustic detection

Aural observations made in a room with low noise level may be used as a means of detecting **partial discharges**.

Non-subjective acoustical measurements, usually made with microphones or other acoustic transducers in combination with amplifiers and suitable display units, may also be useful, particularly for locating the discharges. Directionally selective microphones with high sensitivity above the audible frequency range are useful for locating corona discharges in air. Acoustic transducers may also be used for locating discharges in gas insulated switchgear or oil-immersed equipment such as transformers; they may be either inside or outside the enclosure.

F.3 Visual or optical detection

Visual observations can be carried out in a darkened room, after the eyes have become adapted to the dark and, if necessary, with the aid of binoculars of large aperture. Alternatively, a photographic record can be made, but fairly long exposure times are usually necessary. For special purposes, photo-multipliers or image intensifiers are sometimes used.

F.4 Chemical detection

The presence of **partial discharges** in oil- or gas-insulated apparatus may be detected in some cases by the analysis of the decomposition products dissolved in the oil or in the gas. These products accumulate during prolonged operation, so chemical analysis may also be used to estimate the degradation which has been caused by **partial discharges**.

F.5 Reference documents

For additional information, see:

IEC 60567:1992, *Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases*

IEC 60599:1999, *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*

IEC 61181:1993, *Impregnated insulating materials – Application of dissolved gas analysis (DGA) to factory tests on electrical equipment*

Annex G (informative)

Disturbances

G.1 Sources of disturbances

Quantitative measurements of **partial discharge** magnitudes are often obscured by interference caused by disturbances which fall into two categories:

- Disturbances which occur even if the test circuit is not energized. They can be caused for example by switching operations in other circuits, commutating machines, high-voltage tests in the vicinity, radio transmissions, etc., including inherent noise of the measuring instrument itself. They can also occur when the high-voltage supply is connected, but at zero voltage.
- Disturbances which only occur when the test circuit is energized, but which do not occur in the test object. These disturbances usually increase with increasing voltage. They can include for example **partial discharges** in the testing transformer, on the high-voltage conductors, or in bushings (if not part of the test object). Disturbances can also be caused by sparking of imperfectly earthed objects in the vicinity or by imperfect connections in the area of the high voltage, for example, by spark discharges between screens and other high-voltage conductors, connected with the screen only for testing purposes. Disturbances can also be caused by higher harmonics of the test voltage within or close to the **bandwidth** of the measuring system. Such higher harmonics are often present in the low-voltage supply due to the presence of solid-state switching devices (thyristors, etc.) and are transferred, together with the noise of sparking contacts, through the test transformer or through other connections, to the test and measuring circuit.

For the case of disturbances with direct voltages, see 11.5.2.

G.2 Detecting disturbances

The voltage-independent sources can be detected by a reading on the instrument when the test circuit is not energized or/and the high-voltage supply is connected to the test circuit, but at zero voltage. The value read on the instrument is a measure of these disturbances.

The voltage-dependent sources of disturbance can be detected in the following manner: the test object is either removed or replaced by an equivalent capacitor having no significant **partial discharges** at the specified test voltage. The circuit should be recalibrated by the procedure given in clause 5. The circuit should then be energized up to the full test voltage.

If the disturbance level exceeds 50 % of the maximum permissible **partial discharge** magnitude as specified for the test object, then measures should be introduced to reduce the disturbances. One or more of the methods described herein may be used to reduce the disturbances. It is incorrect to subtract the disturbance level from the measured **partial discharge** magnitude.

The use of an oscilloscope as an indicating instrument or the evaluation of digitally acquired PD quantities can help the observer to distinguish between **partial discharges** in the test object and external disturbances, such as **background noise**, and can make it possible to determine the type of the disturbances or identify the type of **partial discharge**.

Other electrical or non-electrical detection methods (annex F) are often useful for locating corona on the high-voltage leads or discharges elsewhere in the test area. They can also give independent confirmation of disturbance and **partial discharges** in the test object.

G.3 Reduction of disturbances

G.3.1 Screening and filtering

Reduction of disturbances can be achieved by suitably grounding all conducting structures, which should also be free of sharp protrusions in the vicinity of the tests and by filtering the power supplies for the test and measuring circuits. Good reduction is achieved by testing in a shielded room where all electrical connections into the room are made through filters that suppress disturbances.

G.3.2 Balanced circuits

A balanced circuit, as shown in figure 1c, can attenuate disturbances as mentioned above and often enables the observer to distinguish discharges in the test object despite discharges in other parts of the test circuit.

G.3.3 Electronic processing and recovering of signals

Generally and especially under industrial conditions, the sensitivity is limited by the presence of disturbances. Various electronic methods do exist, which may be used individually or in combination in order to separate the true **partial discharge** signal from the disturbances. They should only be used with care and they should never remove or mask significant PD signals. Some of these methods are described below.

G.3.3.1 Time-window method

The instrument may be provided with a gate which can be opened and closed at pre-selected moments, thus either passing the input signal or blocking it. If the disturbances occur during regular intervals, the gate can be closed during these intervals. In tests with alternating voltage, the true discharge signals often occur only at regularly repeated intervals during the cycles of test voltage. The time window can be phase-locked to open the gate only at these intervals.

G.3.3.2 Polarity discrimination methods

Partial discharge signals originating within the test object can be distinguished from disturbances originating outside the test circuit by comparing the relative polarity of the pulses at the output of two coupling devices, as shown in figure 1d. A logic system performs the comparison and operates the gate of the instrument, as described above, for pulses of the correct polarity. Consequently, only those pulses which originate from the test object are recorded.

However, disturbances which are electromagnetically induced in the loop formed by C_a and C_k cannot be discriminated from the **partial discharges** unless additional means are applied.

G.3.3.3 Pulse averaging

Many disturbances in an industrial environment are random, whereas **partial discharges** often recur at approximately the same phase in each cycle of applied voltage. It is therefore possible to greatly reduce the relative level of randomly occurring disturbances by using signal-averaging techniques.

G.3.3.4 Frequency selection

Broadcast radio disturbance is limited to discrete bands but will still affect wide-band **partial discharge** detectors if the transmission frequency falls within the sensitive frequency band of the instrument. To reduce this type of interference, the gain of the instrument amplifier can be reduced by bandstop filters tuned to the frequencies where the disturbances occur. Alternatively, narrow-band instruments can be used which are tuned to a frequency at which the interference level is negligible.

G.4 Disturbance levels

No definite values for the magnitudes of disturbances can be given, but as a general guide, disturbances equivalent to individual **apparent charge magnitudes** of some hundreds of picocoulombs can be encountered in unscreened industrial testing areas, especially in the case of test circuits of large physical dimensions. By the use of techniques described in this annex, such disturbances can be considerably reduced.

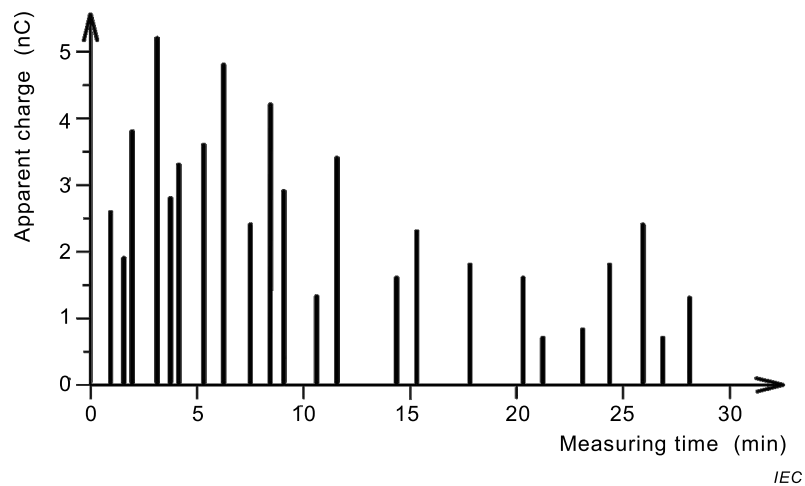
In shielded test rooms with effective application of the methods to reduce disturbances as described in this annex, and with adequate precautions to suppress disturbances from the power supply and from other electrical systems, the ultimate limit of measurement is that of the measuring system itself or that given by minor imperfections in the screening, grounding or filtering; a limit quantified by an **apparent charge q** of about 1 pC is generally attainable.

Annex H (informative)

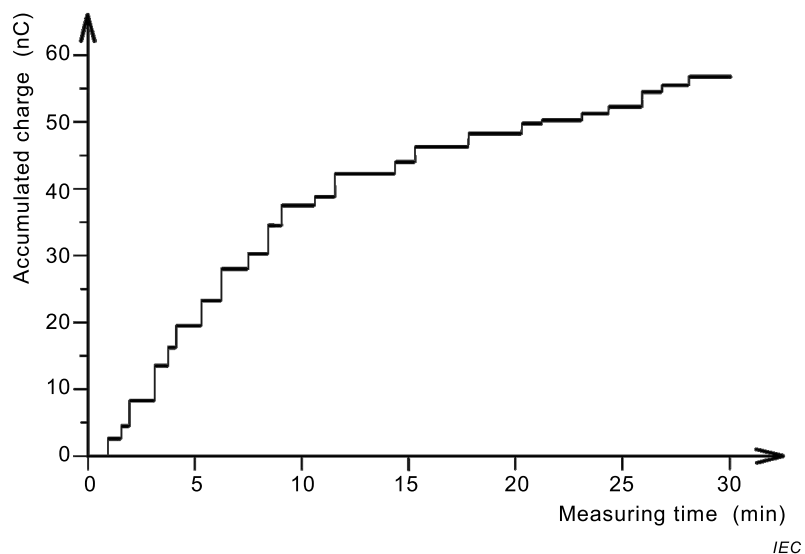
Evaluation of PD test results during tests with direct voltage

The evaluation of PD test results should be based on records of the apparent charge q of each individual PD pulse vs. the time at constant DC test voltage level, as shown in Figure H.1a). It is important to define the time between successive PD pulses where a resolution time of 2 ms is recommended.

Based on the graph shown in Figure H.1a), the accumulated apparent charge of the individual pulses vs. the measuring time is displayed in Figure H.1b).



a) Apparent charge of individual PD pulses

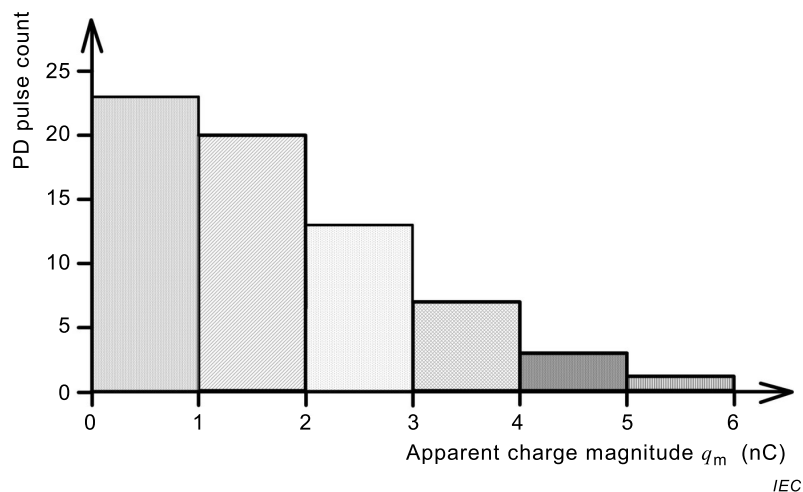


b) Accumulated apparent charge

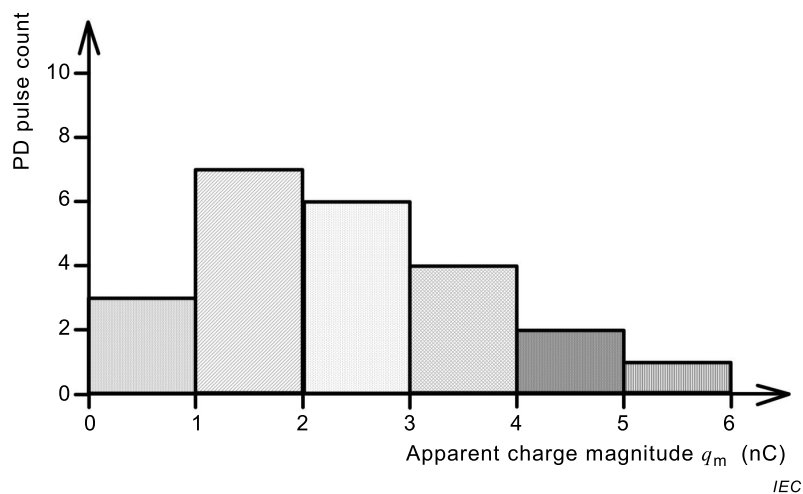
Figure H.1 – Display modes of apparent pulses against measuring time

Additional information on the PD behaviour can be gained if the PD pulse count m vs. the apparent charge magnitude exceeding specified threshold levels during the measuring time is

displayed, as illustrated in Figure H.2a). This graph has been deduced from the PD pulse train shown in Figure H.1a). Moreover the presentation of the pulse counts m occurring within specified limits of the apparent charge magnitude seems useful for assessing the PD activity during direct voltage tests.



a) PD pulse count m exceeding the following limits for the apparent charge magnitude q_m : 0 nC, 1 nC, 2 nC, 3 nC, 4 nC, 5 nC.



b) PD pulse count m occurring within the following apparent charge intervals q_{mi} : (0-1) nC, (1-2) nC, (2-3) nC, (3-4) nC, (4-5) nC

Figure H.2 – Histograms of PD pulse count m against apparent charge intervals

Bibliography

- [1] CIGRE WG D1.33, “Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance with IEC 60270,” Technical Brochure 366, *Electra*, vol. 60, no. 241, Dec. 2008.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	63
1 Domaine d'application	65
2 Références normatives.....	65
3 Termes et définitions.....	66
4 Circuits d'essai et systèmes de mesure	71
4.1 Prescriptions générales	71
4.2 Circuits d'essai pour tension alternative	71
4.3 Systèmes de mesure de charge apparente	72
4.3.1 Généralités.....	72
4.3.2 Dispositif de couplage	72
4.3.3 Réponse des appareils de mesure de la charge apparente à un train d'impulsions.....	72
4.3.4 Appareils de mesure de DP à large bande	73
4.3.5 Appareils de mesure de DP à large bande avec intégrateur actif	73
4.3.6 Appareils de mesure de DP à bande étroite	74
4.4 Prescriptions pour les mesures effectuées avec des appareils numériques de DP	74
4.4.1 Prescriptions pour la mesure de la charge apparente q	74
4.4.2 Exigences pour la mesure de la phase et de l'amplitude de la tension d'essai	75
4.5 Systèmes de mesure pour les grandeurs dérivées	75
4.5.1 Dispositifs de couplage.....	75
4.5.2 Appareils de mesure du taux de répétition des impulsions n	75
4.5.3 Appareils de mesure du courant de décharge moyen I	75
4.5.4 Appareils de mesure de la puissance de décharge P	75
4.5.5 Appareils de mesure du débit quadratique D	76
4.5.6 Appareils de mesure de la tension de perturbation radioélectrique.....	76
4.6 Appareils à bande passante ultra large pour la détection des DP	76
5 Etalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet.....	76
5.1 Généralités	76
5.2 Procédure d'étalonnage	77
6 Dispositifs d'étalonnage	77
6.1 Généralités	77
6.2 Dispositif d'étalonnage pour étalonnage du système de mesure dans le circuit d'essai complet.....	79
6.3 Dispositifs d'étalonnage pour essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesure	79
7 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage et des systèmes de mesure	79
7.1 Echancier des essais	80
7.2 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.1 Essais de type des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.2 Essais de routine des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.3 Essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage.....	80
7.2.4 Essais de contrôle des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.5 Recueil de caractéristiques.....	81
7.3 Maintien des caractéristiques des systèmes de mesure	81
7.3.1 Essais de type des systèmes de mesure de DP	81
7.3.2 Essais de routine des systèmes de mesure	82

7.3.3	Essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures	82
7.3.4	Contrôle des caractéristiques des systèmes de mesures	82
7.3.5	Contrôle des possibilités supplémentaires des systèmes de mesures numériques	83
7.3.6	Recueil de caractéristiques	84
8	Essais	84
8.1	Prescriptions générales	84
8.2	Conditionnement de l'objet en essai	84
8.3	Choix des procédures d'essai	85
8.3.1	Détermination des tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles	85
8.3.2	Détermination de l'amplitude des décharges partielles à une tension d'essai spécifiée	85
9	Incertitude de mesure et sensibilité	86
10	Perturbations	86
11	Mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue	87
11.1	Généralités	87
11.2	Grandeurs relatives aux décharges partielles DP	87
11.3	Tensions relatives aux décharges partielles	88
11.3.1	Tensions d'apparition et d'extinction des décharges	88
11.3.2	Tension d'essai de décharges partielles	88
11.4	Circuits d'essai et dispositifs de mesure	88
11.5	Essais	89
11.5.1	Choix des procédures d'essai	89
11.5.2	Perturbations	89
Annexe A (normative)	Essai de détermination des caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage	96
Annexe B (informative)	Circuits d'essai	101
Annexe C (informative)	Mesures sur des câbles, postes à enveloppe métallique, condensateurs de puissance et objets en essai comprenant des enroulements	103
Annexe D (informative)	Utilisation de mesureurs de perturbations (interférences) radioélectriques pour la détection des décharges partielles	104
Annexe E (informative)	Directives sur l'acquisition numérique des grandeurs relatives aux décharges partielles Appareils de mesure de DP	106
Annexe F (informative)	Méthodes non électriques de détection de DP	112
Annexe G (informative)	Perturbations	113
Annexe H (informative)	Évaluation des résultats d'essai de DP lors des essais en tension continue	116
Bibliographie		118
Figure 1	– Circuits d'essai fondamentaux pour la mesure des décharges partielles	91
Figure 2	– Circuit d'essai pour une mesure faite à la prise d'une traversée	92
Figure 3	– Circuit d'essai pour des objets auto-excités	92
Figure 4	– Connexions pour l'étalonnage du montage d'essai complet	94
Figure 5	– Relation correcte entre l'amplitude et la fréquence pour minimiser l'erreur d'intégration pour un système de mesure à large bande	94
Figure 6	– Paramètres d'un échelon de tension d'un dispositif d'étalonnage	95

Figure A.1 – Etalonnage des calibreurs d'impulsions.....	98
Figure A.2 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant l'intégration numérique.....	99
Figure A.3 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant la méthode de l'échelon de tension	100
Figure A.4 – Impact de la résistance en série R_S sur la réponse de l'échelon de tension apparaissant aux bornes de C_m utilisant le circuit de la Figure A.3, lorsque l'oscilloscope a été connecté au dispositif d'étalonnage via un câble de mesure de 50Ω de 1 m de long	100
Figure D.1 – Variation de la lecture $f(N)$ du mesureur de perturbations radioélectriques du CISPR avec la fréquence de répétition N , pour des impulsions constantes.....	105
Figure E.1 – Signaux de tension de sortie U_{out} de deux dispositifs de mesure différents pour la charge apparente (double impulsion).....	108
Figure E.2 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP analogique équipé d'un intégrateur électronique	109
Figure E.3 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP numérique	110
Figure E.4 – Exemple de motif de DP résolu en phase	111
Figure H.1 – Modes d'affichage des impulsions apparentes en fonction du temps de mesure.....	116
Figure H.2 – Histogrammes du nombre m d'impulsions de DP en fonction des intervalles de charge apparente.....	117
Tableau 1 – Réponse des appareils de mesure de DP à un train d'impulsions	73
Tableau 2 – Essais demandés pour les dispositifs d'étalonnage.....	81
Tableau 3 – Essais nécessaires pour les systèmes de mesure	83

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION – MESURES DES DÉCHARGES PARTIELLES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(s) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 60270 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2000-12) [documents 42/162/FDIS et 42/165/RVD] et son corrigendum 1 (2001-10), et son amendement 1 (2015-11) [documents 42/338/FDIS et 42/340/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 60270 a été préparée par le comité d'études 42 de l'IEC: Techniques des essais à haute tension.

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

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B, C, D, E, F et G sont citées seulement pour information.

Les termes définis à l'article 3 et utilisés dans toute cette norme sont en **caractères romains gras**.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement 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. A cette date, la publication sera

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

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.

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION – MESURES DES DÉCHARGES PARTIELLES

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale s'applique à la mesure des **décharges partielles** qui se produisent dans l'appareillage électrique, les composants ou les dispositifs soumis à des essais sous tension alternative à fréquence industrielle jusqu'à 400 Hz ou sous tension continue.

Cette norme:

- définit les termes utilisés;
- définit les grandeurs à mesurer;
- décrit les circuits d'essai et de mesure susceptibles d'être utilisés;
- définit les méthodes de mesure analogiques et numériques nécessaires aux applications courantes;
- spécifie les méthodes d'étalonnage et les exigences relatives aux appareils de mesure utilisés pour l'étalonnage;
- fournit des indications sur les procédures d'essai;
- donne quelques conseils concernant la séparation des **décharges partielles** des perturbations externes.

Il convient d'utiliser les recommandations de cette norme dans les projets de spécifications relatives à la mesure des **décharges partielles** pour des appareillages de puissance spécifiques. Cette norme traite des mesures électriques des **décharges partielles** impulsionnelles (de courte durée), mais aussi des méthodes non électriques, utilisées principalement pour la localisation des **décharges partielles**, voir annexe F.

Les diagnostics concernant le comportement d'appareillages spécifiques de puissance peuvent être facilités par le traitement numérique de données de **décharges partielles** (voir annexe E), mais aussi par des méthodes non électriques, utilisées principalement pour la localisation des **décharges partielles** (voir annexe F).

Cette norme concerne d'abord les mesures électriques de **décharges partielles** effectuées lors des essais sans tension alternative, mais les problèmes particuliers susceptibles de se produire lors d'essais sous tension continue sont traités dans l'article 11.

La terminologie, les définitions, les circuits d'essai de base et les procédures sont souvent utilisés lors d'essais à d'autres fréquences, mais des procédures d'essai et des caractéristiques de systèmes de mesure particulières, qui ne sont pas traitées dans cette norme, peuvent être nécessaires.

L'annexe A donne les exigences normatives relatives aux essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus

récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'IEC et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

CISPR 16-1:1993, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité*

3 Termes et définitions

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

3.1

décharge partielle (DP)

une décharge électrique localisée qui court-circuite partiellement l'intervalle isolant séparant des conducteurs et qui peut être adjacente ou non à un conducteur

NOTE 1 En règle générale, les **décharges partielles** sont une conséquence de concentrations locales de contraintes électriques dans l'isolation ou sur la surface de l'isolation. Généralement de telles décharges apparaissent sous la forme d'impulsions ayant des durées très inférieures à 1 μ s. Toutefois, des décharges à caractère plus continu peuvent aussi survenir, par exemple des décharges de faibles intensités (appelées: «pulse-less») se produisant dans les diélectriques gazeux. Ce type de décharges ne sera normalement pas détecté par les méthodes de mesure décrites dans la présente norme.

NOTE 2 L'«effet couronne» est une forme de **décharge partielle** qui se produit dans les milieux gazeux autour des conducteurs placés loin de toute isolation solide ou liquide. Il convient que ce terme ne soit pas employé comme terme général pour désigner n'importe quel type de **DP**.

NOTE 3 Les **décharges partielles** sont souvent accompagnées d'une émission sonore, de lumière et de chaleur ainsi que de réactions chimiques. Pour obtenir d'autres informations, voir l'annexe F.

3.2

impulsion de décharge partielle (impulsion de la DP)

une impulsion de courant ou de tension qui résulte d'une **décharge partielle** se produisant dans l'objet en l'essai. L'impulsion est mesurée avec des circuits de détection adéquats placés à cet effet dans le circuit d'essai

NOTE Une **décharge partielle** qui se produit dans l'objet en essai génère une impulsion de courant. Un détecteur conforme aux prescriptions de la présente norme fournira en sortie un signal en courant ou en tension proportionnel à la charge de l'impulsion de courant à son entrée.

3.3

grandeurs relatives aux impulsions de décharges partielles

3.3.1

charge apparente q

d'une **impulsion de DP** qui, si elle était injectée en un temps très court entre les bornes de l'objet en essai placé dans un circuit d'essai spécifié, donnerait la même lecture sur le dispositif de mesure que l'**impulsion de DP** elle-même. La **charge apparente** est habituellement exprimée en picocoulombs (pC)

NOTE La **charge apparente** n'est pas égale à la valeur de la charge mise en jeu à l'endroit où la décharge se produit, valeur qui ne peut être mesurée directement.

3.3.2

taux de répétition des impulsions n

le rapport entre le nombre total d'**impulsions de DP** enregistrées pendant un intervalle de temps choisi et la durée de cet intervalle.

NOTE En pratique, on ne considère que les impulsions dépassant une amplitude spécifiée ou comprises entre des limites d'amplitudes spécifiées.

3.3.3

fréquence de répétition des impulsions N

le nombre d'impulsions de **décharges partielles** par seconde, dans le cas d'impulsions régulièrement réparties

NOTE La **fréquence de répétition des impulsions N** est liée aux conditions d'étalonnage.

3.3.4

angle de phase ϕ_i et instant t_i d'occurrence d'une impulsion de DP

l'angle de phase est:

$$\phi_i = 360 (t_i/T)$$

où t_i est le temps mesuré entre l'instant du passage par zéro du front montant de la tension d'essai précédant la décharge et l'instant de **l'impulsion de la décharge partielle**. T est la période de la tension d'essai

L'angle de phase est exprimé en degrés (°).

3.3.5

courant moyen de décharge I

grandeur dérivée qui est la somme des valeurs absolues des amplitudes des **charges apparentes** individuelles q_i , pendant un intervalle de temps de référence choisi $T_{\text{réf}}$, divisée par la durée de cet intervalle:

$$I = \frac{1}{T_{\text{réf}}} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_i|)$$

En général, le **courant moyen de décharge** est exprimé en coulombs par seconde (C/s) ou en ampères (A).

3.3.6

puissance de décharge P

grandeur dérivée qui est la puissance moyenne des impulsions envoyées entre les bornes de l'objet en essai, due aux amplitudes q_i de **charge apparente** pendant un intervalle de temps de référence donné $T_{\text{réf}}$:

$$P = \frac{1}{T_{\text{réf}}} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + \dots + q_i u_i)$$

où $u_1, u_2, \dots, u_i$ sont les valeurs instantanées de la tension d'essai aux instants d'occurrence t_i des décharges individuelles de **charge apparente** q_i . On doit tenir compte du signe des valeurs individuelles

La **puissance de décharge** s'exprime généralement en watts (W).

3.3.7

débit quadratique D

grandeur dérivée qui est la somme des carrés des amplitudes des **charges apparentes** individuelles q_i pendant un intervalle de temps de référence choisi $T_{\text{réf}}$, divisée par la durée de cet intervalle de temps:

$$D = \frac{1}{T_{\text{réf}}} (q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2)$$

Le **débit quadratique** s'exprime généralement en (coulombs)² par seconde (C²/s).

3.3.8

mesureur de perturbations radioélectriques

capteur de mesure quasi-crête pour bande de fréquence B conforme aux recommandations du CISPR 16-1:1993

NOTE Ce type d'appareil était précédemment connu sous la dénomination: mesureur de perturbations radio électriques.

3.3.9

tension de perturbations radioélectriques U_{TPR}

grandeur dérivée qui est la lecture fournie par un **mesureur de perturbations radio-électriques** lorsqu'il est utilisé pour quantifier la **charge apparente q** des décharges partielles. Pour obtenir des renseignements supplémentaires, voir 4.5.6 et l'annexe D

La **tension de perturbations radioélectriques U_{TPR}** est généralement exprimé en μV .

3.4

amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive

la plus grande amplitude enregistrée par un système de mesure ayant une réponse aux trains d'impulsions en accord avec les spécifications de 4.3.3

La notion de **la plus grande décharge partielle répétitive** n'est pas utilisable pour les essais sous tension continue.

3.5

amplitude de décharge partielle spécifiée

la plus grande amplitude d'une grandeur caractérisant les **impulsions de DP** autorisée dans un objet en essai à une tension spécifiée, en appliquant une procédure spécifiée de conditionnement et d'essai. Pour les essais sous tension alternative l'amplitude spécifiée pour la **charge apparente q** est l'**amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive**

NOTE L'amplitude de toute grandeur relative à une **impulsion de DP** peut varier de façon aléatoire lors des périodes successives et, également, montrer une augmentation ou une diminution générale avec le temps d'application de la tension. Il convient que la procédure d'essai, le circuit d'essai, l'instrumentation et l'**amplitude de DP spécifiée** soient donc définis de façon appropriée par les comités d'études concernés.

3.6

bruit de fond

les signaux détectés pendant les essais de DP, qui n'ont pas leur origine dans l'objet en essai

NOTE Le **bruit de fond** peut être composé soit d'un bruit blanc du système de mesure, soit d'émissions radio, ou soit d'autres signaux continus ou impulsionnels, voir annexe G.

3.7

tensions d'essai appliquées relatives aux grandeurs des impulsions de décharges partielles

définies conformément à l'IEC 60060-1 Les niveaux de tensions définis ci-après présentent un intérêt particulier

3.7.1

tension d'apparition des décharges partielles U_i

la tension appliquée à laquelle des **décharges partielles** répétitives sont observées pour la première fois dans l'objet en essai, lorsque la tension appliquée à cet objet est augmentée progressivement à partir d'une valeur basse pour laquelle de telles **décharges partielles** ne sont pas observées

En pratique, la tension d'apparition U_i est la tension appliquée la plus basse pour laquelle l'amplitude d'une grandeur de l'**impulsion de DP** devient égale ou supérieure à une valeur faible spécifiée.

NOTE Pour les essais sous tension continue, la détermination de U_i nécessite une attention particulière. Voir article 11.

3.7.2

tension d'extinction des décharges partielles U_e

la tension appliquée à laquelle des **décharges partielles** répétitives cessent d'être observées dans l'objet en essai, lorsque la tension appliquée à cet objet est réduite progressivement à partir d'une valeur supérieure pour laquelle de telles **impulsions de DP** sont observées

En pratique, la tension d'extinction U_e est la tension appliquée la plus basse à laquelle l'intensité d'une grandeur relative aux **impulsions de DP** devient égale ou inférieure à une valeur faible spécifiée.

NOTE Pour les essais sous tension continue, la détermination de U_e nécessite une attention particulière. Voir article 11.

3.7.3

tension d'essai de décharges partielles

la tension spécifiée, appliquée dans le cadre d'une procédure d'essai spécifiée de **décharge partielle**, pendant laquelle l'objet en essai ne doit pas présenter de DP dont l'amplitude dépasse une valeur de **décharges partielles spécifiée**

3.8

système de mesure de décharges partielles

il comprend un dispositif de couplage, un système de transmission et un instrument de mesure

3.9

caractéristiques des systèmes de mesure

Les définitions suivantes font référence aux systèmes de mesure spécifiés en 4.3

3.9.1

impédance de transfert $Z(f)$

le rapport entre l'amplitude de la tension de sortie et l'amplitude d'un courant d'entrée constant, en fonction de la fréquence f , lorsque le courant d'entrée est sinusoïdal

3.9.2

fréquences limites inférieure et supérieure f_1 et f_2

les fréquences pour lesquelles l'**impédance de transfert $Z(f)$** chute de 6 dB par rapport à la valeur de crête au milieu de la bande passante

3.9.3

fréquence centrale f_m et bande passante Δf

pour tous les types de systèmes de mesure, la **fréquence centrale** est définie par:

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

et la **bande passante** par:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

3.9.4

erreur de superposition

causée par le chevauchement de réponses en sortie impulsionnelles transitoires, lorsque l'intervalle de temps entre les impulsions de courant d'entrée est inférieur à la durée de la réponse en sortie à une impulsion unique. Les **erreurs de superposition** peuvent s'ajouter ou se soustraire en fonction de la **fréquence de répétition des impulsions** d'entrée. Dans la pratique, les deux cas peuvent se produire à cause du caractère aléatoire de la **fréquence de répétition des impulsions**. Toutefois, comme les mesures sont basées sur la **mesure de la plus grande décharge répétitive**, habituellement seules les **erreurs de superposition** positives seront mesurées

NOTE Les **erreurs de superposition** peuvent atteindre 100 % ou plus en fonction du **taux de répétition des impulsions** et des caractéristiques du système de mesure.

3.9.5**temps de résolution des impulsions T_r**

le plus court intervalle de temps entre deux impulsions d'entrée successives de très courte durée, de forme, de polarité et d'amplitude identiques, pour lesquelles les valeurs de crête des réponses ne changent pas de plus de 10 % par rapport à celle à une impulsion unique

Le **temps de résolution des impulsions** est généralement inversement proportionnel à la **bande passante** Δf du système de mesure. C'est une indication de la capacité du système à séparer des DP successives.

NOTE Il est recommandé de mesurer le **temps de résolution des impulsions** pour l'ensemble du circuit d'essai ainsi que pour le système de mesure, car **les erreurs de superposition** peuvent être causées par l'objet en essai, par exemple par des réflexions provenant des extrémités des câbles. Il convient que les comités d'études concernés spécifient la procédure pour maîtriser **les erreurs de superposition** et particulièrement les tolérances admissibles, y compris leurs signes.

3.9.6**erreur d'intégration**

erreur sur la mesure de la **charge apparente** qui se produit lorsque la limite de fréquence supérieure du spectre d'amplitude de l'impulsion de courant de DP est plus petite que:

- la fréquence de coupure haute d'un système de mesure large bande; ou
- la fréquence centrale d'un système de mesure à bande étroite.

Voir figure 5.

NOTE Si nécessaire pour des appareils spéciaux, les comités d'études concernés sont fortement incités à spécifier des valeurs pour f_1 et f_2 plus restrictives pour minimiser l'**erreur d'intégration**.

3.10**appareils de mesure de décharges partielles numériques**

~~les appareils considérés dans cette norme sont en général basés sur des systèmes ou des appareils de mesure analogiques de la charge apparente q , suivis d'un système d'acquisition et de traitement numérique. La partie numérique d'un **appareil numérique de mesure de DP** est utilisée pour traiter des signaux analogiques en vue de leur utilisation future, pour enregistrer les grandeurs significatives et pour présenter les résultats d'essai. Voir aussi annexe E.~~

appareils pour effectuer une acquisition numérique et une évaluation des données de DP

Note 1 à l'article: ~~Un **appareil de mesure de DP numérique** peut aussi être basé sur un dispositif de couplage et un système numérique d'acquisition sans le tiroir d'entrée de traitement analogique du signal. Cette norme ne fournit pas d'informations spécifiques applicables à ce type d'appareil.~~

La conversion A/N des impulsions de DP reçues par les bornes de l'objet soumis à essai peut être effectuée soit directement, soit après avoir déterminé les impulsions de charge apparente en utilisant, soit un amplificateur de filtrage passe-bande analogique, soit un intégrateur actif (voir Annexe E).

3.11**coefficient de conversion k**

facteur par lequel il faut multiplier la valeur lue par l'appareil de mesure, pour obtenir la valeur de la grandeur d'entrée (IEC 60060-2:1994, 3.5.1)

3.12**charge apparente accumulée q_a**

somme de la charge apparente q de toutes les impulsions individuelles dépassant un niveau de seuil spécifié et apparaissant pendant un intervalle de temps spécifié Δt

3.13**nombre m d'impulsions de DP**

nombre total d'impulsions de DP dépassant un niveau de seuil spécifié dans un intervalle de temps spécifié Δt

3.14

motif de DP

affichage de la charge apparente q en fonction de l'angle de phase φ_i des impulsions de DP enregistrées pendant un intervalle de temps spécifié Δt

4 Circuits d'essai et systèmes de mesure

4.1 Prescriptions générales

Dans cet article, les circuits d'essai et les systèmes de mesure de base pour la mesure des grandeurs relatives aux **décharges partielles** sont décrits et des informations sur le principe de fonctionnement de ces circuits et de ces systèmes sont fournies. Les circuits d'essai et les systèmes de mesure doivent être étalonnés conformément aux spécifications de l'article 5 et doivent satisfaire aux prescriptions spécifiées par l'article 7. Le comité d'études concerné peut également recommander un circuit d'essai particulier à utiliser pour des objets en essai particuliers. Il est recommandé que le comité d'études utilise comme grandeur à mesurer la **charge apparente** chaque fois que possible, mais d'autres grandeurs peuvent être utilisées dans des situations spécifiques particulières.

Sauf indication contraire du comité d'études concerné, l'un quelconque des circuits mentionnés en 4.2 et l'un quelconque des systèmes de mesure spécifiés en 4.3 sont acceptables. Dans chaque cas, les caractéristiques principales du système de mesure (f_1 , f_2 , T_r , voir 3.9.2 et 3.9.5) utilisé doivent être consignées.

Pour les essais sous tension continue, voir l'article 11.

4.2 Circuits d'essai pour tension alternative

La plupart des circuits utilisés pour la mesure de **décharges partielles** peuvent être dérivés de l'un des circuits de base représentés aux figures 1a à 1d. Des variantes de ces circuits sont représentées aux figures 2 et 3. Chacun de ces circuits comprend principalement:

- un objet en essai qui peut généralement être considéré comme une capacité C_a (voir cependant l'annexe C);
- un condensateur de couplage C_k , qui doit être conçu pour présenter une faible inductance, ou un deuxième objet en essai C_{a1} , semblable à l'objet en essai C_a . Il convient que C_k ou C_{a1} présentent un niveau suffisamment bas de **décharges partielles** à la tension d'essai spécifiée, pour permettre la mesure de l'**amplitude spécifiée de décharges partielles**. Un plus fort niveau de **décharges partielles** peut être toléré si le système de mesure est capable de distinguer les décharges de l'objet en essai de celles du condensateur de couplage et de les mesurer séparément;
- un système de mesure avec son impédance d'entrée (et parfois, dans certaines configurations de circuits en pont, une deuxième impédance d'entrée);
- des connexions haute tension ayant un niveau de **bruit de fond** suffisamment bas (voir aussi articles 9 et 10) pour permettre de mesurer l'**amplitude spécifiée de DP** à la tension spécifiée;
- une impédance ou un filtre peuvent être placés du côté de la haute tension pour réduire le **bruit de fond** provenant de l'alimentation.

NOTE Pour chacun des circuits d'essai de DP de base illustrés aux figures 1 et 3, le dispositif de couplage du système de mesure peut aussi être placé du côté de la borne haute tension, de façon à ce que les positions des dispositifs de couplages par rapport à C_a ou C_k soient permutées; ensuite, des liaisons optiques sont utilisées pour relier le dispositif de couplage à l'appareil de mesure, comme le montre la figure 1a.

D'autres informations ainsi que les caractéristiques particulières des différents circuits d'essai sont traitées dans les annexes B et G.

4.3 Systèmes de mesure de charge apparente

4.3.1 Généralités

Les systèmes de mesure peuvent être séparés en plusieurs sous-ensembles: dispositif de couplage, système de transmission (par exemple câble de liaison ou liaison optique) et appareil de mesure. En général, le système de transmission ne contribue pas aux caractéristiques des circuits et ne sera donc pas pris en compte.

4.3.2 Dispositif de couplage

Le dispositif de couplage fait partie intégrante du système de mesure et du circuit d'essai, ses composants étant spécifiquement conçus pour assurer une sensibilité optimale avec un circuit d'essai spécifique. Différents dispositifs de couplage peuvent donc être utilisés en conjonction avec un seul appareil de mesure.

Le dispositif de couplage est habituellement un réseau actif ou passif à quatre bornes (quadripôle), qui convertit les courants d'entrée en signaux de tension de sortie. Ces signaux sont transmis à l'appareil de mesure au moyen d'un système de transmission. La réponse en fréquence du dispositif de couplage, définie par le rapport entre la tension de sortie et le courant d'entrée, est choisie de manière à empêcher la fréquence d'alimentation et ses harmoniques d'atteindre l'appareil mesureur.

NOTE 1 Bien que la réponse en fréquence d'un dispositif de couplage individuel ne soit pas d'intérêt général, les caractéristiques en amplitude et en fréquence de l'impédance d'entrée sont importantes, car cette impédance interagit avec C_k et C_a et constitue donc une partie essentielle du circuit d'essai.

NOTE 2 Il convient que les câbles de liaison entre le système de couplage et l'objet en essai soient aussi courts que possible afin de réduire les effets sur la bande passante de détection.

4.3.3 Réponse des appareils de mesure de la charge apparente à un train d'impulsions

A condition que l'amplitude du spectre de fréquence des impulsions à l'entrée soit constante au moins à l'intérieur de la **bande passante** Δf du système de mesure, voir figure 5, la réponse de l'appareil est une impulsion de tension dont la valeur de crête est proportionnelle à la charge (unipolaire) de l'impulsion d'entrée. La forme, la durée et la valeur de crête de cette impulsion de sortie sont déterminées par l'**impédance de transfert $Z(f)$** du système de mesure. Par conséquent, la forme et la durée de l'impulsion de sortie peuvent être complètement différentes de celles du signal d'entrée.

L'affichage de la tension de sortie des impulsions individuelles sur l'écran d'un oscilloscope peut faciliter la reconnaissance du type de **décharges partielles** et permettre de les distinguer des perturbations (voir article 10). Il convient que les impulsions de tension soient affichées soit sur une base de temps linéaire déclenchée par la tension d'essai, soit sur une base de temps sinusoïdale synchronisée sur la fréquence de la tension d'essai, soit sur une base de temps ellipsoïdale parcourue en synchronisme avec la fréquence de la tension d'essai.

En outre, il est recommandé qu'un appareil indicateur ou enregistreur soit utilisé pour quantifier l'**amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive**. Il convient que la lecture de tels appareils, quand ils sont utilisés sous tension alternative, soit réalisée grâce à un circuit analogique de détection de crête ou à une détection numérique par programme avec une constante de temps de charge très courte, et une constante de temps de décharge inférieure à 0,44 s. Quel que soit le type d'affichage utilisé par de tels appareils, les prescriptions suivantes s'appliquent:

La réponse du système à un train d'impulsions de courant équidistantes, de même durée, d'amplitudes égales q_0 et dont la **fréquence de répétition N** doit être telle que la lecture R affichée par l'appareil indique des amplitudes conformes au tableau suivant. La gamme et le gain de l'appareil seront réglés de façon que, si $N = 100$, la lecture se fasse à pleine échelle ou 100 %. Le dispositif d'étalonnage utilisé pour générer ces impulsions doit être en accord avec les prescriptions de l'article 5.

Tableau 1 – Réponse des appareils de mesure de DP à un train d'impulsions

N (1/s):	1	2	5	10	50	≥ 100
$R_{\min}$ (%):	35	55	76	85	94	95
$R_{\max}$ (%):	45	65	86	95	104	105

NOTE 1 Cette caractéristique est indispensable pour établir la cohérence entre les mesures effectuées avec différents types d'appareils. Les prescriptions doivent être satisfaites sur toutes les gammes. Les appareils déjà en service à la date de l'établissement de cette norme ne sont pas soumis à ces prescriptions, néanmoins il convient de donner les valeurs réelles de $R(N)$.

NOTE 2 La grandeur mesurée peut être indiquée par des appareils à aiguille, des affichages numériques ou des oscilloscopes.

NOTE 3 La réponse spécifiée peut être obtenue par un traitement du signal aussi bien analogique que numérique.

NOTE 4 La réponse à un train d'impulsions définie dans ce paragraphe n'est pas appropriée aux essais sous tension continue.

NOTE 5 Le comité d'études concerné peut spécifier une réponse différente adaptée à un type d'appareillage particulier.

4.3.4 Appareils de mesure de DP à large bande

Utilisé avec un dispositif de couplage, un appareil de ce type constitue un système de mesure de DP à large bande, caractérisé par une **impédance de transfert** $Z(f)$ ayant des valeurs fixes de **fréquences limites inférieure et supérieure** f_1 et f_2 , et une atténuation adéquate en dessous de f_1 et au-dessus de f_2 . Les valeurs recommandées pour les paramètres de fréquence significatifs f_1 , f_2 et Δf sont les suivantes:

$$30 \text{ kHz} \leq f_1 \leq 100 \text{ kHz};$$

$$f_2 \leq 500 \text{ kHz } 1 \text{ MHz};$$

$$100 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 400 \text{ } 900 \text{ kHz}.$$

NOTE 1 La combinaison de différents dispositifs de couplage avec l'appareil de mesure peut modifier l'**impédance de transfert**. Il convient que la réponse globale respecte toujours les valeurs recommandées.

NOTE 2 Pour les objets soumis à essai avec des enroulements tels que des transformateurs et des machines électriques, la bande de fréquences acquise peut être réduite à quelques centaines de kilohertz et même en dessous. Il convient que la fréquence limite supérieure f_2 à accepter pour ces types d'objets soumis à essai soit spécifiée par le comité d'études approprié.

La réponse de ces appareils à une impulsion de courant (non oscillante) due à une **décharge partielle** est, en général, une oscillation bien amortie. La **charge apparente** q et la polarité de l'impulsion de courant de la DP peuvent être toutes deux déterminées à partir de cette réponse. Le **temps de résolution des impulsions** T_r est petit, et typiquement de 5 μs à 20 μs .

4.3.5 Appareils de mesure de DP à large bande avec intégrateur actif

Ce type d'appareil est constitué d'un amplificateur à très large bande associé à un intégrateur électronique caractérisé par la constante de temps de son circuit intégrateur formé d'une capacité et d'une résistance. La réponse de l'intégrateur à une **impulsion de DP** est un signal de tension augmentant avec la somme instantanée des charges. En supposant que la constante de temps de l'intégrateur soit beaucoup plus grande que la durée de **impulsion de DP**, l'amplitude finale du signal sera proportionnelle à la charge totale. En pratique les constantes de temps typiques sont de l'ordre de 1 μs . Le **temps de résolution des impulsions** pour des DP consécutives est inférieur à 10 μs .

NOTE Une valeur correspondant à une **limite supérieure de fréquence** de quelques centaines de kilohertz peut être obtenue avec de tels appareils, calculée à partir de la constante de temps combinée de l'amplificateur et de l'intégrateur actif.

4.3.6 Appareils de mesure de DP à bande étroite

Ces appareils sont caractérisés par une **largeur de bande** étroite Δf et une **fréquence centrale** f_m qui peuvent être choisies dans une large gamme de fréquences, où l'amplitude du spectre de fréquence des impulsions de courant de la décharge est sensiblement constante. Les valeurs recommandées de Δf et f_m sont les suivantes:

$$9 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 30 \text{ kHz};$$

$$50 \text{ kHz} \leq f_m \leq 1 \text{ MHz}.$$

Il est également recommandé que l'**impédance de transfert** $Z(f)$, à des fréquences égales à $f_m \pm \Delta f$ soit de 20 dB inférieure à la valeur de crête de la bande passante.

NOTE 1 Pendant la mesure de la **charge apparente**, l'utilisation de fréquences centrales $f_m > 1 \text{ MHz}$ n'est recommandée que si les lectures pour ces valeurs élevées ne diffèrent pas de celles que l'on obtiendrait avec les valeurs recommandées de f_m .

NOTE 2 En général, de tels appareils sont utilisés avec des dispositifs de couplage, présentant des caractéristiques d'un filtre passe haut dans la gamme de fréquences de l'appareil. Si des dispositifs de couplage résonants sont utilisés, f_m est accordée et fixée à la fréquence de résonance du dispositif de couplage et du circuit d'essai de façon à fournir un **facteur d'échelle** constant pour le circuit.

NOTE 3 Les **mesureurs de perturbations radioélectriques** ayant des réponses quasi crête ne sont pas qualifiés selon cette norme pour la mesure de la **charge apparente** q , mais ils peuvent être utilisés pour la détection des DP.

La réponse de ces appareils à une impulsion de courant de **décharge partielle** est une oscillation transitoire dont les enveloppes des valeurs de crête positive et négative sont proportionnelles à la **charge apparente**, indépendamment de la polarité de cette charge. La **résolution temporelle de l'impulsion** T_r sera grande, typiquement supérieure à 80 μs .

4.4 Prescriptions pour les mesures effectuées avec des appareils numériques de DP

L'exigence minimale pour un **appareil de mesure numérique** est:

- d'afficher la valeur de l'**amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive**. L'appareil doit être conforme aux prescriptions de 4.3.3.

En complément, une ou plusieurs des grandeurs suivantes peuvent être évaluées et enregistrées:

- la **charge apparente** q_i se produisant à l'instant t_i ;
- la valeur instantanée de la tension d'essai u_i mesurée à l'instant t_i de la décharge de **charge apparente** q_i ;
- l'**angle de phase** ϕ_i à l'instant de l'**impulsion de la DP**.

4.4.1 Prescriptions pour la mesure de la charge apparente q

Le temps entre deux rafraîchissements de l'affichage numérique ne doit pas être supérieur à 1 s.

Normalement, la réponse de l'appareil doit inclure le bruit sous la forme soit d'un niveau continu soit d'une ligne de base. L'origine du bruit peut être soit un **bruit de fond** soit des **décharges partielles** nombreuses dont l'amplitude est faible comparée au niveau maximal à mesurer. C'est pourquoi un seuil de sensibilité dans les deux polarités peut être introduit pour éviter que de tels signaux ne soient enregistrés. Si un seuil est utilisé, son niveau doit être indiqué.

Des indications concernant l'acquisition numérique de mesures analogiques sont données dans l'annexe E.

4.4.2 Exigences pour la mesure de la phase et de l'amplitude de la tension d'essai

Si l'appareil numérique est censé être capable d'enregistrer la valeur de la tension à fréquence industrielle de l'essai, il doit se conformer aux prescriptions de l'IEC 60060-2, 1994.

Si l'appareil numérique est censé être capable de mesurer la phase de la tension de l'essai, il est nécessaire de montrer que le déphasage de la lecture diffère de moins de 5 degrés de la vraie valeur.

4.5 Systèmes de mesure pour les grandeurs dérivées

4.5.1 Dispositifs de couplage

Les recommandations de 4.3.2 sont aussi valables pour les systèmes de mesure des grandeurs dérivées.

4.5.2 Appareils de mesure du taux de répétition des impulsions n

Un appareil pour la détermination du **taux de répétition** doit avoir un **temps de résolution des impulsions** T_r suffisamment court pour traiter le **taux de répétition** le plus élevé nécessaire. Des sélecteurs d'amplitude, qui suppriment les impulsions en dessous d'un certain seuil d'amplitude réglable et prédéterminé, peuvent être nécessaires pour éviter de compter des signaux non significatifs. Plusieurs niveaux de seuils de déclenchement peuvent être utiles pour caractériser les DP, par exemple lors des essais sous tension continue.

Il est recommandé que l'entrée du compteur soit reliée à la sortie d'un système de mesure de DP tel que défini en 4.3. Si un compteur d'impulsions est utilisé avec le système de mesure de DP et que les réponses sont oscillantes ou bidirectionnelles, une mise en forme appropriée de ces impulsions doit être faite pour éviter de compter plusieurs fois chaque impulsion.

4.5.3 Appareils de mesure du courant de décharge moyen I

En principe, les appareils qui mesurent la valeur moyenne des impulsions de courant de décharge après amplification linéaire et redressement, indiqueront, après un étalonnage approprié, le **courant de décharge moyen** I . Des erreurs peuvent être introduites dans les mesures par:

- saturation de l'amplificateur pour des **impulsions** à faible **taux de répétition** n ;
- des impulsions séparées par un temps inférieur au **temps de résolution des impulsions** T_r du système;
- de faibles décharges partielles inférieures au seuil de détection de l'équipement d'acquisition numérique.

Il convient que de telles sources d'erreur soient prises en compte dans l'évaluation des mesures.

Le **courant moyen de décharge** peut également être calculé par un traitement numérique.

NOTE Il peut y avoir saturation lorsque le **taux de répétition** n est si faible que le **courant moyen de décharge** I est difficile à détecter. Dans de tels cas, on peut être tenté d'augmenter le gain de l'amplificateur de l'appareil de mesure des DP de façon significative (accroissant en même temps le **coefficient de conversion**), jusqu'à ce que le courant soit détectable. Cela peut conduire à la situation où la dynamique de l'amplificateur devient telle qu'elle ne permette plus une réponse linéaire aux impulsions DP occasionnelles. Pour éviter cette situation, l'appareil de mesure des DP peut être soit muni de circuits d'alarme pour déceler toute opération non linéaire, soit la sortie de l'appareil peut être surveillée visuellement (sur un oscilloscope par exemple) pendant la mesure du **courant moyen de décharge**.

4.5.4 Appareils de mesure de la puissance de décharge P

Différents types de circuits d'essai et de mesureurs analogiques peuvent servir à la mesure de la **puissance de décharge**. Ils sont généralement basés sur l'évaluation de la somme $\sum q_i u_i$, grandeur qui peut être mesurée par l'aire de la courbe obtenue sur un écran

d'oscilloscope si l'on applique sur les voies x-y les grandeurs $\int q_i$ et $u(t)$ respectivement, ou en utilisant des techniques plus sophistiquées. L'étalonnage de tels circuits d'essai et de tels appareils repose sur la détermination des **facteurs d'échelle** pour la tension appliquée et pour la **charge apparente**.

La **puissance de décharge** peut aussi être calculée par traitement numérique.

4.5.5 Appareils de mesure du débit quadratique D

Des appareils qui mesurent la moyenne des carrés des amplitudes individuelles q_i des **charges apparentes** indiqueront le **débit quadratique D** . Il convient que la conception de tels appareils soit basée sur les caractéristiques identiques à celles applicables à la mesure de la **charge apparente**.

Le **débit quadratique** peut aussi être calculé par traitement numérique.

4.5.6 Appareils de mesure de la tension de perturbation radioélectrique

Les **mesureurs de perturbations radioélectriques** sont des voltmètres sélectifs en fréquence. A l'origine, ces appareils ont été conçus pour mesurer les interférences ou les perturbations causées aux signaux de transmission radio. Bien que ces mesureurs n'indiquent directement aucune des grandeurs définies dans la présente norme, ils peuvent donner une bonne indication de l'**amplitude de la charge apparente q** , si on les utilise avec un dispositif de couplage ayant des caractéristiques passe haut adéquates et si un étalonnage est effectué conformément à l'article 5.

A cause du circuit de mesure quasi crête de cet appareil, la lecture est sensible au **taux de répétition des impulsions n** des impulsions de décharge. Pour obtenir des renseignements supplémentaires, voir l'annexe D.

4.6 Appareils à bande passante ultra large pour la détection des DP

Les **décharges partielles** peuvent aussi être détectées par des oscilloscopes dont les **bandes passantes** sont très larges, ou encore par des appareils accordés en fréquence (par exemple, des analyseurs de spectre) reliés à des dispositifs de couplage appropriés. L'objectif de cette application est de mesurer et de quantifier la forme ou le spectre de fréquence des impulsions de courant ou de tension des **décharges partielles** dans des équipements à paramètres répartis, par exemple des câbles, des machines tournantes ou des postes à enveloppes métalliques, ou de fournir des informations sur la physique ou l'origine du phénomène de décharge.

Aucune recommandation n'est donnée dans la présente norme en ce qui concerne les méthodes de mesure ou la bande passante des appareils à utiliser pour ce type de recherches, étant donné que, généralement, ces méthodes ou appareils ne permettent pas de quantifier directement la **charge apparente** des impulsions de courant des DP.

5 Etalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet

5.1 Généralités

Le but de l'étalonnage est de vérifier que le système de mesure est apte à mesurer correctement l'**amplitude de DP spécifiée**.

L'étalonnage du système de mesure, dans le circuit complet, est effectué pour déterminer le **coefficient de conversion k** à utiliser pour la mesure de la **charge apparente**. Comme la capacité C_a de l'objet en essai influe sur les caractéristiques du circuit, un étalonnage doit être effectué pour chaque nouvel objet, sauf si les essais sont effectués sur une série d'objets similaires dont les capacités ne s'écartent pas de plus de 10 % de la valeur moyenne.

L'étalonnage du système de mesure, avec l'objet en essai dans le circuit complet est effectué en injectant une impulsion de courant de courte durée de charge connue q_0 , aux bornes de l'objet en essai, voir figure 4. La valeur de q_0 doit être considérée comme étant celle obtenue par l'essai de détermination des caractéristiques du dispositif d'étalonnage, voir 7.2.3.

5.2 Procédure d'étalonnage

Il convient que l'étalonnage des systèmes de mesure en vue de la mesure de la **charge apparente q** soit fait en injectant des impulsions de courant à l'aide d'un dispositif d'étalonnage, défini en 6.2, entre les extrémités de l'objet comme indiqué à la figure 4. Il convient que l'étalonnage soit effectué pour une amplitude située dans la gamme d'amplitude utile, pour assurer une bonne précision de l'**amplitude de DP spécifiée**.

Il convient que la gamme d'amplitude utile, en l'absence d'autres spécifications, soit comprise entre 50 % et 200 % de l'**amplitude de DP spécifiée**.

Comme la capacité C_0 du dispositif d'étalonnage est souvent une capacité basse tension, l'étalonnage de l'ensemble complet est effectué avec l'objet en essai hors tension. Pour que l'étalonnage demeure correct, il convient que la capacité d'étalonnage C_0 ne soit pas plus grande que $0,1 C_a$. Si les exigences pour le dispositif d'étalonnage sont remplies, l'impulsion d'étalonnage est équivalente à une décharge unique d'amplitude $q_0 = U_0 C_0$.

Ceci implique de retirer C_0 avant d'appliquer la tension sur l'objet en essai. Si, par contre, C_0 est une capacité haute tension et présente un **bruit de fond** suffisamment faible (voir aussi les articles 9 et 10) pour permettre de mesurer le niveau de DP spécifié à la tension d'essai spécifiée, elle peut être conservée dans le circuit d'essai.

NOTE 1 L'exigence que la capacité C_0 soit inférieure à $0,1 C_a$ n'est pas requise si C_0 est une capacité haute tension et qu'elle est conservée dans le circuit d'essai.

Dans le cas d'objets de grandes dimensions de plusieurs mètres de hauteur, il convient que la capacité d'injection C_0 soit placée près de l'extrémité haute tension de l'objet en essai car la capacité parasite C_s (indiquée sur les figures 4a et 4b) peut introduire une erreur inacceptable.

Il convient que le câble de liaison entre le générateur d'échelons et la capacité C_0 soit blindé et muni d'adaptations appropriées afin d'éviter toute distorsion de l'échelon de tension.

NOTE 2 Pour des objets de grande taille soumis à essai, les conducteurs de connexion entre le dispositif d'étalonnage et les bornes de l'objet soumis à essai peuvent dépasser plusieurs mètres. Ainsi, le transfert de la charge du dispositif d'étalonnage vers l'objet soumis à essai peut être réduit en raison des capacités parasites inévitables. Il convient que l'incertitude de mesure acceptable dans ces conditions soit spécifiée par le comité d'études approprié.

6 Dispositifs d'étalonnage

6.1 Généralités

Les impulsions de courant sont généralement fournies par un dispositif d'étalonnage qui comprend un générateur délivrant des échelons de tension d'amplitude U_0 , en série avec une capacité C_0 , ainsi les impulsions d'étalonnage sont des charges répétitives d'amplitude:

$$q_0 = U_0 C_0$$

En pratique, il n'est pas possible d'obtenir des échelons de tension idéaux. Bien que d'autres formes d'onde avec des temps de montée t_r plus longs (de 10 % à 90 % de la valeur de crête) et des temps de descente non infinis t_d (de 90 % à 10 % de la valeur de crête) puissent injecter sensiblement la même charge, les réponses fournies par différents dispositifs de mesure ou circuits d'essai peuvent être différentes en raison de l'**erreur d'intégration** causée par l'augmentation de la durée de telles impulsions de courant d'étalonnage.

~~Les impulsions de tension du générateur doivent avoir un temps de montée t_r inférieur à 60 ns.~~
Les paramètres caractérisant un échelon de tension unipolaire d'amplitude U_0 doivent satisfaire aux conditions suivantes (voir Figure 6):

Temps de montée:	$t_r \leq 60 \text{ ns}$
Temps jusqu'au régime établi:	$t_s \leq 200 \text{ ns}$
Durée d'un échelon de tension	$t_d \geq 5 \text{ } \mu\text{s}$
Écart d'amplitude d'échelon de tension U_0 entre t_s et t_d	$\Delta U \leq 0,03 U_0$

Les paramètres de temps t_r , t_s et t_d sont mesurés depuis l'origine t_0 de l'échelon de tension qui se réfère à l'instant où la tension croissante est égale à 10 % de U_0 (voir Figure 6).

Le temps jusqu'au régime établi t_s est l'instant le plus court auquel l'écart de ΔU par rapport à U_0 reste inférieur à 3 % pour la première fois.

La durée de l'échelon de tension t_d est l'instant après t_s auquel l'amplitude de l'échelon de tension diminue en dessous de 97 % de U_0 . Après t_d , la tension doit diminuer de façon continue jusqu'à 10 % de U_0 dans un intervalle de temps supérieur ou égal à 500 μs .

L'amplitude U_0 de l'échelon de tension est la valeur moyenne apparaissant au cours de la durée du régime établi $t_d - t_s$.

Pour des objets soumis à essai représentés par une capacité localisée C_a , le condensateur d'étalonnage C_0 doit satisfaire aux conditions suivantes $C_0 \leq 200 \text{ pF}$ et $C_0 \leq 0,01 C_a$.

Pour les objets soumis à essai représentés par une impédance caractéristique Z_c , tels que des câbles d'alimentation dont la longueur dépasse 200 m, la valeur du condensateur d'étalonnage doit satisfaire aux conditions suivantes $C_0 \leq 1 \text{ nF}$ et $C_0 \times Z_c \leq 30 \text{ ns}$.

Pour les dispositifs d'étalonnage fabriqués avant la publication du présent amendement, dont les paramètres de temps et de tension ne sont pas conformes aux valeurs spécifiées ci-dessus, l'écart des valeurs mesurées par rapport aux valeurs spécifiées doit être mentionné dans le protocole d'essai.

NOTE 1 Pour les appareils à bande large dont la fréquence limite haute est supérieure à 500 kHz, la prescription $t_r < 0,03/f_2$ doit être remplie pour avoir un spectre de fréquence sensiblement constant comme indiqué sur la figure 5.

Les impulsions d'étalonnage peuvent être générées soit sous la forme d'une série d'impulsions de tension (unipolaires ou bipolaires) caractérisée par un front de montée rapide (comme défini ci-dessus) et avec un temps de décroissance lent, soit sous la forme de trains d'impulsions rectangulaires qui sont effectivement différenciés par la capacité d'étalonnage C_0 . Pour le premier cas, le temps de décroissance t_d de l'impulsion de tension doit être grand par rapport à $1/f_1$ du système de mesure. Pour le deuxième cas, il convient que la tension U_0 ne varie pas de plus de 5 % entre deux impulsions. Pour les deux cas, il convient que l'intervalle de temps séparant deux impulsions soit plus long que le **temps de résolution**. Pour les systèmes bipolaires, l'amplitude des impulsions des deux polarités doit être la même à 5 % près.

Pour les injections d'impulsion de courant dans des objets à constantes réparties comme par exemple les postes à enveloppes métalliques, C_0 peut être une capacité connue placée entre le conducteur haute tension et l'électrode du capteur connecté à la source de tension d'étalonnage (voir figure 4c).

NOTE 2 Les dispositifs d'étalonnage conformes à cet article peuvent être utilisés pour l'étalonnage de systèmes de mesure de la **charge apparente** aussi bien que pour des systèmes de mesure des grandeurs dérivées.

6.2 Dispositif d'étalonnage pour étalonnage du système de mesure dans le circuit d'essai complet

Les dispositifs d'étalonnage peuvent délivrer des impulsions de courant unipolaires ou bipolaires. Le **taux de répétition des impulsions N** peut être fixe (par exemple deux fois la fréquence de la tension d'essai) ou variable (pourvu que le temps séparant deux impulsions soit supérieur au **temps de résolution des impulsions**). De tels dispositifs d'étalonnage sont utilisables pour l'étalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet pour déterminer le **coefficient de conversion du système de mesure de DP**.

NOTE 1 Le **facteur d'échelle** est généralement déterminé pour une intensité comprise entre 50 % et 200 % de l'**amplitude de DP** spécifiée.

NOTE 2 L'étalonnage du système de mesure peut être vérifié indirectement en injectant une impulsion d'étalonnage dans la haute tension du circuit d'essai (souvent à l'entrée du dispositif de couplage) mais pas aux extrémités de l'objet en essai. Cette méthode ne constitue pas à elle seule un étalonnage, mais si elle est utilisée conjointement avec un étalonnage du système de mesure dans un circuit d'essai complet (voir article 5), cette technique peut être utilisée comme une référence de transfert pour simplifier les procédures d'étalonnages. Il convient que le dispositif d'étalonnage utilisé soit conforme aux recommandations de cette norme.

6.3 Dispositifs d'étalonnage pour essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesure

Pour vérifier les caractéristiques complémentaires du circuit d'essai et du système de mesure, un dispositif d'étalonnage plus sophistiqué ou même une procédure d'étalonnage sont recommandés. Pour des essais de détermination des caractéristiques, les caractéristiques suivantes sont recommandées pour le dispositif d'étalonnage utilisé:

- une charge d'amplitude q_0 , variable par échelon ou de façon continue, pour déterminer la linéarité du **coefficient de conversion k** . Il convient que la variation soit obtenue en faisant varier la valeur de l'échelon de tension. Il convient que la linéarité du dispositif d'étalonnage soit comprise entre ± 5 % ou ± 1 pC, selon la plus grande des valeurs;
- un temps variable entre deux impulsions consécutives de même polarité pour vérifier le **temps de résolution des impulsions T_r** du système de mesure seul et le **temps de résolution des impulsions** du circuit complet;
- les deux sorties du dispositif d'étalonnage flottantes, c'est-à-dire les sorties à potentiel non fixé;
- pour les dispositifs d'étalonnage fonctionnant sur batterie, il convient qu'un indicateur d'état de la batterie soit fourni;
- des impulsions bipolaires pour détecter une variation de l'amplitude de la **charge apparente** en fonction de la polarité des impulsions de courant de DP;
- une série d'impulsions d'étalonnage de nombre connu ayant des amplitudes égales et de **fréquence de répétition N** , pour vérifier les **appareils de mesure de décharges partielles numériques**.

7 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage et des systèmes de mesure

Des essais de détermination et de contrôle des caractéristiques sont effectués pour établir et maintenir les caractéristiques des systèmes de mesure.

Des essais de détermination et de contrôle des caractéristiques sont aussi effectués pour établir et maintenir les caractéristiques des dispositifs d'étalonnage.

En général, les fabricants de dispositifs d'étalonnage dédiés à l'étalonnage des grandeurs liées aux **décharges partielles** fournissent des spécifications et des recommandations pour effectuer la maintenance périodique destinée à vérifier le dispositif d'étalonnage.

Indépendamment de ces spécifications des fabricants, les procédures suivantes doivent être suivies. Les résultats des essais et des vérifications doivent être consignés dans le recueil de caractéristiques.

7.1 Echancier des essais

La vérification des systèmes de mesure et des dispositifs d'étalonnage est effectuée une seule fois comme essais de réception. Les essais de détermination des caractéristiques sont effectués périodiquement ou après chaque réparation majeure et au moins tous les cinq ans. Les essais de contrôle des caractéristiques sont effectués périodiquement au moins une fois par an.

Les essais de réception peuvent comprendre des essais de type et des essais de routine. Cet échancier est en accord avec les recommandations de l'IEC 60060-2.

7.2 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage

7.2.1 Essais de type des dispositifs d'étalonnage

Des essais de type sur les dispositifs d'étalonnage doivent être effectués sur un dispositif d'étalonnage de chaque série. Ces essais de type doivent être effectués par le fabricant du dispositif d'étalonnage. Si les résultats de l'essai de type ne sont pas disponibles auprès du fabricant, l'utilisateur doit effectuer les essais pour vérifier son équipement.

L'essai de type doit comprendre tous les essais demandés dans les essais de détermination des caractéristiques.

7.2.2 Essais de routine des dispositifs d'étalonnage

Les essais de routine sur les dispositifs d'étalonnage doivent être effectués sur chaque dispositif d'une série. Ces essais de routine doivent être effectués par le fabricant du dispositif d'étalonnage. Si les résultats de l'essai de routine ne sont pas disponibles auprès du fabricant, l'utilisateur doit effectuer des essais pour vérifier son équipement.

L'essai de routine doit comprendre tous les essais demandés dans les essais de détermination des caractéristiques.

7.2.3 Essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage

La précision des mesures de DP dépend de la précision des dispositifs d'étalonnage. C'est pourquoi il est recommandé que le premier essai de détermination des caractéristiques du dispositif dont l'acceptation est recherchée soit enregistré par l'organisme national des normes.

Les essais de détermination des caractéristiques suivants doivent être effectués:

- détermination de la charge q_0 délivrée par le dispositif d'étalonnage sur toutes les gammes nominales. Il convient d'établir que l'incertitude de cette détermination soit comprise entre $\pm 5\%$ ou ± 1 pC selon la plus grande de ces valeurs. C'est la valeur réelle de la charge du dispositif qui doit être employée quand on utilise le dispositif d'étalonnage;
- détermination du temps de montée t_r de l'échelon de tension U_0 , avec une incertitude de $\pm 10\%$;
- détermination de la **fréquence de répétition N** à l'aide d'un compteur d'impulsion avec une incertitude de $\pm 1\%$; cette exigence ne s'applique qu'à des dispositifs d'étalonnage destinés à l'étalonnage des lectures du **taux de répétition des impulsions n** .

L'annexe A décrit une procédure convenant à l'exécution de ces essais relatifs à q_0 et à t_r . On peut aussi utiliser d'autres procédures si leur applicabilité est confirmée par des essais.

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

7.2.4 Essais de contrôle des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage

Les essais de contrôle des caractéristiques suivants doivent être effectués:

- détermination de la charge q_0 délivrée par le dispositif d'étalonnage sur toutes les gammes nominales. Il convient d'établir que l'incertitude sur cette détermination de la charge par rapport à la valeur nominale soit comprise entre $\pm 5\%$ ou ± 1 pC, selon la plus grande de ces valeurs;

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

Tableau 2 – Essais demandés pour les dispositifs d'étalonnage

Type d'essai	Méthode d'essai de référence	Classification des essais			
		Essai de type	Essai de routine	Essai de détermination des caractéristiques	Essai de vérification des caractéristiques
Mesure de q_0	7.2.3	X	X	X	X
Mesure de t_r	7.2.3	X	X	X	
Mesure de N	7.2.3	X	X	X	

7.2.5 Recueil de caractéristiques

Le recueil de caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage doit comprendre les informations suivantes:

- a) Caractéristiques nominales
 - 1) Identification (numéro de série, type, etc.)
 - 2) Etendue des conditions d'utilisation
 - 3) Etendue des conditions de référence
 - 4) Temps de chauffe
 - 5) Gamme de charge délivrée
 - 6) Tension d'alimentation
- b) Résultats des essais de type
- c) Résultats des essais de routine
- d) Résultats des essais de détermination des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de détermination des caractéristiques
- e) Résultats des essais de contrôle des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de contrôle des caractéristiques
 - 2) Résultats – acceptation ou refus (si refus, enregistrement des actions correctives)

7.3 Maintien des caractéristiques des systèmes de mesure

En général, les fabricants de systèmes de mesure destinés à la mesure des grandeurs liées aux **décharges partielles**, comme spécifié en 3.3, fournissent des spécifications et des recommandations pour effectuer la maintenance périodique destinée au contrôle des caractéristiques de l'appareil ou du système de mesure.

Indépendamment des spécifications des fabricants, les procédures suivantes doivent être appliquées. Les résultats des vérifications doivent être consignés dans le recueil de caractéristiques.

7.3.1 Essais de type des systèmes de mesure de DP

Les essais de type des systèmes de mesure des DP doivent être effectués sur un système de mesure de chaque série. Ces essais de type doivent être effectués par le fabricant du

système de mesure. Si les résultats ne sont pas disponibles auprès du constructeur, l'utilisateur doit effectuer les essais pour vérifier l'équipement.

Les essais de type des systèmes de mesure de DP doivent au moins comprendre:

- la détermination de l'**impédance de transfert $Z(f)$** et des **fréquences limites inférieure et supérieure f_1 et f_2** du système de mesure sur une gamme de fréquences pour laquelle elle a chuté de 20 dB par rapport à la valeur maximale dans la bande passante. Il convient que la grandeur d'entrée soit un courant sinusoïdal de fréquence variable;
- la détermination du **coefficient de conversion k** du système de mesure pour des impulsions d'étalonnage d'au moins trois amplitudes de charge différentes allant de 100 % à 10 % de la gamme complète, avec un **taux de répétition des impulsions n** faible (environ 100/s) sur chaque gamme d'amplitude. La variation de k doit être inférieure à ± 5 % pour démontrer la linéarité du système de mesure;
- la détermination du **temps de résolution des impulsions T_r** du système de mesure en appliquant des impulsions d'étalonnage de charge constante séparées par des d'intervalles de temps entre impulsions consécutives décroissants. Le **temps de résolution des impulsions** doit être déterminé pour tous les systèmes de couplage devant être utilisés avec l'appareil, avec les valeurs de capacités minimum et maximum prévues pour chaque dispositif de couplage;
- la vérification que les variations de lecture de la **charge apparente q** en fonction de la **fréquence de répétition N** des impulsions d'étalonnage sont en accord avec les valeurs proposées en 4.3.3 pour les essais sous tension alternative.

7.3.2 Essais de routine des systèmes de mesure

Les essais de routine des systèmes de mesure doivent être effectués sur chaque appareil d'une série. Ces essais de type doivent être effectués par le fabricant du système de mesure. Si les résultats ne sont pas disponibles auprès du constructeur, l'utilisateur doit effectuer les essais pour vérifier l'équipement.

Les essais de routine doivent comprendre tous les essais demandés pour les essais de détermination des caractéristiques.

7.3.3 Essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures

Les essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures doivent comprendre:

- la détermination de l'**impédance de transfert $Z(f)$** et des **fréquences limites inférieure et supérieure f_1 et f_2** du système de mesure sur une gamme de fréquences pour laquelle elle a chuté de 20 dB par rapport à la valeur maximale dans la bande passante. Il convient que la grandeur d'entrée soit un courant sinusoïdal de fréquence variable;
- la linéarité du système de mesure doit être déterminée en appliquant le signal délivré par le dispositif d'étalonnage de DP variable à l'entrée du système de mesure. Il convient que la linéarité du **coefficient de conversion k** soit vérifiée à partir de 50 % de la plus petite **amplitude de DP spécifiée** à mesurer jusqu'à 200 % de la plus grande **amplitude de DP spécifiée** à mesurer. La variation de k doit rester inférieure à ± 5 % pour démontrer la linéarité du système de mesure.

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

7.3.4 Contrôle des caractéristiques des systèmes de mesures

- La détermination de l'**impédance de transfert $Z(f)$** du système de mesure pour une fréquence dans la bande passante est requise. Il convient de vérifier que la valeur n'a pas changé de plus de 10 % par rapport à l'essai de détermination des caractéristiques précédent. Il convient que la grandeur d'entrée soit un courant sinusoïdal de fréquence variable.

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

Tableau 3 – Essais nécessaires pour les systèmes de mesure

Type d'essai	Méthode d'essai de référence	Classification des essais			
		Essai de type	Essai de routine	Essai de détermination des caractéristiques	Essai de contrôle des caractéristiques
Détermination de $Z(f)$	7.3.1	X	X	X	
Détermination de $Z(f)$ à une fréquence	7.3.4				X
Détermination de k	7.3.1	X			
Détermination de T_r	7.3.1	X			
Réponse à un train d'impulsions	4.3.3	X			
Linéarité	7.3.1	X			
Linéarité	7.3.2		X	X	

7.3.5 Contrôle des possibilités supplémentaires des systèmes de mesures numériques

Les stipulations pour les systèmes de mesures analogiques doivent être applicables aux systèmes de mesures numériques, mais comme les systèmes numériques offrent des possibilités supplémentaires pour enregistrer de nombreuses valeurs liées aux **décharges partielles**, il convient que leur aptitude soit démontrée de façon quantitative par des essais supplémentaires.

Comme les procédures complètes d'étalonnage pour les appareils de mesures numériques de DP dépendent des possibilités spécifiques des appareils qui peuvent être très différentes, les procédures supplémentaires d'étalonnage suivantes sont, au minimum, spécifiées:

- Pour vérifier l'étendue de la gamme dans laquelle les systèmes d'acquisition numérique peuvent enregistrer correctement les impulsions d'entrée indépendamment de leur fréquence, le dispositif d'étalonnage doit pouvoir délivrer pendant un intervalle de temps donné un nombre d'impulsions connu (par exemple 10^4) avec une **fréquence de répétition des impulsions** réglable. La **fréquence de répétition des impulsions** du dispositif d'étalonnage doit être augmentée par échelons adéquats depuis les basses valeurs (par exemple 100 Hz) jusqu'aux plus grandes valeurs qui ne devraient pas dépasser les limites imposées par le **temps de résolution des impulsions** du système de mesure utilisé. Pour chaque valeur de **fréquence de répétition des impulsions**, le nombre d'impulsions mesurées pendant l'intervalle de temps considéré ne doit pas différer de ± 2 % par rapport au nombre connu d'impulsions d'étalonnage appliqué.
- Pour vérifier l'étendue de mesure dans laquelle le système d'acquisition est capable de saisir tous les événements liés aux DP, le dispositif d'étalonnage doit être utilisé avec une **fréquence de répétitions** constante et bien connue (par exemple 100 Hz) et le nombre d'événements enregistrés doit être comparé au nombre d'impulsions d'étalonnage délivré par le dispositif d'étalonnage pendant le temps maximum d'enregistrement pour lequel l'appareil numérique a été conçu. Un écart maximum de ± 2 % entre ces deux valeurs est acceptable.

Voir aussi l'annexe E pour plus de détails.

7.3.6 Recueil de caractéristiques

Le recueil de caractéristiques d'un système de mesure doit comprendre les informations suivantes:

- a) Caractéristiques nominales
 - 1) Identification (numéro de série, type, etc.)
 - 2) Etendue des conditions d'utilisation
 - 3) Etendue des conditions de référence
 - 4) Temps de chauffe
 - 5) Gamme de mesure de la quantité de charge
 - 6) Tension d'alimentation
- b) Résultats des essais de type
- c) Résultats des essais de routine
- d) Résultats des essais de détermination des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de détermination des caractéristiques
- e) Résultats des essais de contrôle des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de contrôle des caractéristiques
 - 2) Résultats – acceptation ou refus (si refus, enregistrement des actions correctives)

8 Essais

Le présent article liste les prescriptions relatives à l'objet en essai et à la tension d'essai. Dans le cas de conditions d'essai et de méthodes d'essai particulières, des prescriptions supplémentaires peuvent être spécifiées par le comité d'études concerné. Il convient que le comité spécifie également l'amplitude minimale mesurable demandée. Des informations sur les limites pratiques de l'amplitude minimale mesurable sont données dans l'annexe G. Dans le cas d'essais sous tension continue, voir l'article 11. Le comité d'études peut aussi recommander de mesurer une grandeur liée aux décharges autre que la **charge apparente**.

NOTE Quelques recommandations pour la mesure des **décharges partielles** dans les câbles, les postes à enveloppe métallique, les condensateurs de puissance et dans les objets comportant des enroulements se trouvent dans l'annexe C.

8.1 Prescriptions générales

Pour obtenir des résultats reproductibles lors des essais de **décharges partielles**, il est nécessaire de contrôler soigneusement tous les facteurs importants. Avant tout essai, le **système de mesure de décharges partielles** doit être étalonné en accord avec les dispositions de l'article 5.

8.2 Conditionnement de l'objet en essai

Avant d'être essayé, il convient qu'un objet soit soumis aux procédures de conditionnement spécifiées par le comité d'études concerné.

Sauf spécification contraire:

- a) la surface de l'isolation externe des objets en essai doit être propre et sèche, car l'humidité ou la pollution des surfaces isolantes peut être source de **décharges partielles**; et
- b) il convient que l'objet en essai soit à la température ambiante pendant l'essai.

L'application de contraintes mécaniques, thermiques et électriques immédiatement avant l'essai peut influencer le résultat des essais de **décharges partielles**. Pour assurer la

reproductibilité, il peut être nécessaire de ménager un temps de repos entre l'application des contraintes précédentes et l'essai de **décharges partielles**.

8.3 Choix des procédures d'essai

Il est de la responsabilité du comité d'études concerné de spécifier les procédures à utiliser pour certains types d'essais et pour certains objets en essai. Celles-ci définiront tout processus de conditionnement préliminaire, les niveaux et la fréquence de la tension d'essai, la vitesse de croissance et de décroissance de la tension appliquée, les séquences et les durées d'application de la tension, ainsi que l'interaction entre les essais de mesure des **décharges partielles** et les autres essais diélectriques.

Pour faciliter la préparation de ces spécifications d'essai, des exemples de procédures d'essai applicables sous tension alternative sont donnés en 8.3.1 et 8.3.2.

8.3.1 Détermination des tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles

Une tension très inférieure à la valeur de la tension d'apparition supposée doit être appliquée à l'objet en essai et progressivement élevée, jusqu'à ce que les décharges atteignent ou dépassent une valeur spécifiée faible. La tension d'essai pour cette amplitude spécifiée est la **tension d'apparition des décharges partielles** U_i . La tension est alors augmentée jusqu'au niveau de la tension d'essai spécifiée, puis elle est réduite progressivement à une valeur à laquelle les décharges deviennent inférieures à cette même amplitude spécifiée. La tension d'essai correspondant à cette limite est la **tension d'extinction des décharges partielles** U_e . Il faut noter que la valeur de U_i peut être influencée par la vitesse de croissance de la tension et que U_e peut être influencée par l'amplitude et la durée d'application de la tension, ainsi que par la vitesse de décroissance de la tension.

NOTE 1 Pour certains types d'isolation, les **décharges partielles** ne se manifestent que de façon intermittente, lorsque la tension est d'abord élevée à U_i , pour d'autres, l'amplitude des décharges augmente rapidement, alors que pour d'autres encore les décharges s'éteignent lorsque la tension U_i est maintenue pendant un certain temps. Il convient donc que le comité d'études concerné spécifie les modalités d'essai appropriées.

En aucun cas, toutefois, la tension appliquée ne doit dépasser la tension de tenue à fréquence industrielle de courte durée assignée de l'appareil en essai.

NOTE 2 Dans le cas d'appareillage haute tension, il existe un risque de dégradation suite à des applications répétées de tensions voisines de la tension de tenue à fréquence industrielle de courte durée assignée.

8.3.2 Détermination de l'amplitude des décharges partielles à une tension d'essai spécifiée

8.3.2.1 Mesure sans précontrainte

L'amplitude des **décharges partielles** exprimée à l'aide de la grandeur spécifiée est mesurée à une tension spécifiée, qui peut être très supérieure à la **tension d'apparition des décharges partielles** présumée. La tension est progressivement augmentée à partir d'une faible valeur jusqu'à la valeur spécifiée, à laquelle elle est maintenue pendant la durée spécifiée. Comme les amplitudes peuvent varier dans le temps, la grandeur spécifiée doit être mesurée à la fin de cette durée.

L'amplitude des **décharges partielles** peut aussi être mesurée et enregistrée pendant la période de croissance ou de décroissance de la tension ou pendant toute la durée de l'essai.

8.3.2.2 Mesure avec précontrainte

L'essai est effectué en augmentant la tension d'essai à partir d'une valeur inférieure à la **tension d'essai de décharge partielle** spécifiée jusqu'à une tension spécifiée supérieure à cette tension. La tension est alors maintenue pendant la durée spécifiée et, ensuite, progressivement réduite jusqu'à la **tension d'essai de décharge partielle** spécifiée.

A ce niveau, la tension est maintenue pendant une durée spécifiée et ensuite la grandeur spécifiée associée aux DP est mesurée pendant un intervalle de temps donné ou pendant toute cette durée.

9 Incertitude de mesure et sensibilité

L'amplitude, la durée et le **taux de répétition des impulsions de DP** peuvent être largement influencés par la durée d'application de la tension. De plus, la mesure de différentes grandeurs relatives aux **impulsions de DP** est affectée habituellement d'incertitudes plus importantes que d'autres types de mesures effectuées lors d'essais haute tension. En conséquence, il est possible qu'il soit difficile de confirmer les résultats des essais de DP en répétant les essais. Il convient que cet aspect soit pris en considération pour la spécification des essais de **décharges partielles** en vue de la réception.

La mesure d'une **charge apparente q** , à l'aide d'un système de mesure en accord avec les prescriptions de cette norme et étalonné en accord avec les prescriptions des articles 5 et 7, sera affectée d'une incertitude de mesure comprise entre ± 10 % ou ± 1 pC, selon la plus grande de ces valeurs.

Les mesures sont aussi influencées par les perturbations (article 10) ou le **bruit de fond**, qui doit être suffisamment bas pour permettre une mesure suffisamment sensible et précise de **l'amplitude de décharges partielles spécifié**.

L'amplitude minimale des grandeurs relatives aux DP qui peut être mesurée au cours d'un essai donné est donc, généralement, limitée par les perturbations. Bien que celles-ci puissent être éliminées efficacement par des techniques appropriées décrites dans l'annexe G, d'autres limites sont fixées par les niveaux de bruit interne des appareils et des systèmes de mesure, par les dimensions physiques et la configuration du circuit d'essai, ainsi que par les valeurs des paramètres du circuit d'essai.

Une autre limite à la mesure d'une grandeur minimale, relative aux DP, est déterminée par le rapport des capacités C_a/C_k et par les valeurs optimales de l'impédance d'entrée du dispositif de couplage et de son adaptation aux appareils de mesure utilisés. Une sensibilité plus grande de la mesure serait alors obtenue si $C_k \gg C_a$, condition à laquelle il est, en général, peu pratique de satisfaire en raison de l'augmentation de la charge de l'alimentation haute tension. C'est pourquoi la valeur nominale de C_k est limitée dans les essais réels, mais une sensibilité acceptable est habituellement atteinte lorsque C_k est d'environ 1 nF ou plus.

10 Perturbations

Les mesures sont affectées par des perturbations qui doivent être assez faibles pour permettre des mesures de la grandeur de DP suffisamment sensibles et précises. Comme les perturbations peuvent coïncider avec les **impulsions de DP** et comme elles se superposent souvent aux grandeurs mesurées, il convient que le niveau **bruit de fond** soit de préférence inférieur à 50 % de la valeur spécifiée pour l'amplitude des **décharges partielles**, à moins qu'une autre valeur soit déjà prescrite par le comité d'études concerné. Pour les essais de réception et les essais de type des équipements haute tension, le niveau de **bruit de fond** doit être enregistré.

De fortes lectures clairement identifiées comme étant causées par des perturbations extérieures peuvent être négligées.

Le blocage des signaux par des fenêtres temporelles, la discrimination en fonction de la polarité ou d'autres méthodes similaires, peuvent entraîner la perte des signaux de vraies **décharges partielles**, si ces signaux surviennent en même temps que les perturbations ou pendant la partie inhibée de la période. C'est pourquoi il convient que le signal ne soit pas inhibé par la porte pendant plus de 2 % de chaque période de la tension d'essai alternative, et pas plus de 2 % du temps d'essai cumulé dans les essais sous tension continue.

Cependant, si plusieurs sources d'interférence synchrones avec le réseau d'alimentation sont présentes par période, la durée limite de l'interdiction de blocage de la porte peut être portée à 10 % de la période de la tension d'essai alternative. En conséquence, le système de sélection des signaux doit être installé avant d'appliquer la pleine tension d'essai et les réglages ne doivent pas être modifiés pendant la durée de l'essai. Le comité d'études concerné peut décider des limites à utiliser pour le système de blocage des signaux.

NOTE La proximité de gros redresseurs ou inverseurs peut produire un type particulier de perturbations répétitives qui est consécutif aux courants transitoires dans les redresseurs ou inverseurs.

Des informations complémentaires concernant les perturbations et leur élimination sont données dans l'annexe G.

11 Mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue

11.1 Généralités

Les objets en essai à isolation solide ou imprégnée de liquide montrent, lors des essais sous tension continue, des caractéristiques relatives aux **décharges partielles** très différentes de celles qu'ils manifestent lors des essais sous tension alternative. Les différences peuvent être mineures pour les isolations gazeuses.

Quelques-unes de ces différences sont résumées ci-dessous:

- le **taux de répétition des impulsions de décharges** peut être très bas dans le cas d'une tension continue, appliquée à une isolation solide, parce que l'intervalle de temps entre décharges pour chaque site de décharges est déterminé par les constantes de temps de relaxation de l'isolation;
- des décharges nombreuses peuvent se produire lorsque la tension appliquée varie. En particulier, l'inversion de polarité lors de l'essai peut provoquer de nombreuses décharges à basse tension, mais, par la suite, le **taux de répétition des impulsions de décharges** diminuera pour atteindre les conditions de régime permanent;
- dans une isolation liquide, le mouvement du liquide tend à réduire les constantes de temps de sorte que les décharges sont plus fréquentes;
- les caractéristiques des DP de l'objet en essai peuvent être affectées par l'ondulation de la tension d'essai.

NOTE 1 Sous tension continue, l'effet des variations de tension peut être marqué du fait que la distribution des contraintes n'est plus principalement déterminée par la résistivité volumique ou surfacique des matériaux, comme elle le serait sous des conditions de tension stable.

NOTE 2 Il convient que les amplitudes spécifiques, le nombre d'impulsions limites et la durée de l'application de la tension soient fixés par le comité d'études concerné.

11.2 Grandeurs relatives aux ~~décharges partielles~~ DP

~~Il est en général possible d'utiliser toutes les grandeurs relatives aux impulsions de décharges partielles spécifiées en 3.3 pour les essais sous tension continue. L'appareil utilisé pour mesurer la charge apparente doit avoir une réponse à un train d'impulsions indépendante du taux de répétition des impulsions de décharges partielles.~~ Il convient de baser les mesurages de DP en courant continu sur les grandeurs suivantes:

- charge apparente de chaque impulsion de DP individuelle apparaissant pendant un intervalle de temps spécifié Δt_i à une tension d'essai constante, comme défini en 3.3.1 (voir Figure H.1a)).
- charge apparente accumulée d'un train d'impulsions de DP apparaissant dans un intervalle de temps spécifié Δt_i à une tension d'essai constante, comme défini en 3.12 (voir Figure H.1b)).
- nombre m d'impulsions de DP de trains d'impulsions de DP, comme défini en 3.13 dépassant les limites spécifiées de l'amplitude de la charge apparente q_m pendant un intervalle de temps spécifié Δt_i à un niveau constant de tension d'essai (voir Figure H.2a)).
- nombre m d'impulsions de DP apparaissant dans des plages spécifiées de l'amplitude de charge apparente q_m pendant un intervalle de temps spécifié Δt_i à un niveau constant de tension d'essai (voir Figure H.2b)).

Pour déterminer le nombre m d'impulsions de DP, il convient de veiller à ne pas compter les impulsions de bruit pour éviter des statistiques erronées. Ainsi, avant de commencer le mesurage réel des DP, le niveau du bruit de fond en termes de pC doit être déterminé. En se

fondant sur celui-ci, le niveau de seuil de charge apparente doit être réglé au moins au double du bruit de fond.

Les valeurs des grandeurs relatives aux DP énumérées ci-dessus doivent être spécifiées par le comité d'études approprié.

11.3 Tensions relatives aux décharges partielles

11.3.1 Tensions d'apparition et d'extinction des décharges

Les tensions d'apparition et d'extinction des **décharges partielles** peuvent être difficiles à déterminer lors des essais sous tension continue car ces phénomènes dépendent de facteurs tels que la répartition de la tension sous tension variable, la température et la pression. Les **décharges partielles** ont plus de chance de se produire au moment de l'application initiale de la tension et pendant les variations de la tension, pour devenir plus intermittentes à mesure que la répartition de la tension devient résistive.

Dans certaines conditions, il est possible que les **décharges partielles** se maintiennent même après suppression de la tension d'essai. Ce phénomène est observable principalement dans les isolations mixtes formées de solides, de liquides et de gaz.

NOTE Dans certains cas, l'application d'une tension continue aux objets en essai possédant une isolation solide va engendrer un processus de conditionnement pour les **décharges partielles**. Ceci est mis en évidence par la fréquence des DP qui augmente et diminue de façon cyclique, pour une tension appliquée constante, jusqu'à ce qu'un état de conditionnement stable soit atteint après un temps long.

11.3.2 Tension d'essai de décharges partielles

Pendant l'application de la **tension d'essai de décharges partielles**, il convient que les grandeurs relatives aux **impulsions de DP** de l'objet en essai ne dépassent pas une amplitude spécifiée. Alors que, pour les tensions alternatives, on ne prend généralement en considération que l'**intensité de la charge apparente**, dans le cas des essais sous tension continue, il convient que le nombre **d'impulsions de DP** supérieures à une amplitude spécifiée ne dépasse pas un total spécifié, pendant un intervalle de temps spécifié sous la tension d'essai. Il convient de noter que des **impulsions DP** isolées de grande amplitude peuvent survenir au cours de l'essai.

11.4 Circuits d'essai et dispositifs de mesure

~~Les circuits d'essai et les appareils de mesure utilisés pour les essais sous tension alternative peuvent être, en général, également utilisés pour les essais sous tension continue.~~

~~L'apparition des impulsions de **décharges partielles** étant intermittente, il convient d'utiliser des systèmes de comptage d'impulsions ou des appareils numériques de **décharges partielles**.~~

~~NOTE 1 Lorsque la **fréquence de répétition** n est faible, il est utile d'employer un dispositif de comptage d'impulsions qui fournit le nombre de décharges dans différentes gammes d'amplitudes réglables pour chaque intervalle de temps.~~

~~NOTE 2 La réponse de l'appareil à différentes **fréquences de répétition des impulsions** données en 4.3.3 n'est pas applicable lors d'essais sous tension continue.~~

Pour mesurer la charge apparente conformément à 3.3.1, les circuits de base représentés aux Figures 1a à 1d doivent être utilisés conjointement avec des systèmes de mesure de DP analogiques ou numériques, comme décrit en 4.3 et 4.4 et à l'Annexe E. La réponse à un train d'impulsions des appareils de mesure de DP appliqués doit être indépendante de la fréquence de répétition des impulsions de DP.

Pour indiquer le nombre m d'impulsions de DP, l'application des appareils de mesure de DP numériques avec compteurs d'impulsions intégrés ou des appareils de mesure de DP

analogiques associés à des dispositifs appropriés de comptage d'impulsions est recommandée.

Les modes opératoires d'étalonnage recommandés à l'Article 5 et les dispositifs d'étalonnage spécifiés à l'Article 6 peuvent également être appliqués pour l'essai en tension continue.

11.5 Essais

11.5.1 Choix des procédures d'essai

Les procédures décrites dans le cas des essais sous tension alternative pour déterminer les **tensions d'apparition et d'extinction des DP** ne sont généralement pas utilisables lors des essais sous tension continue, car la contrainte appliquée au diélectrique pendant la montée et la descente de la tension est différente de celle qui existe pendant les périodes où la tension est constante.

Il n'existe pas de méthode universellement reconnue pour la mesure des grandeurs relatives aux **décharges partielles** pendant les essais sous tension continue. Quelle que soit la méthode utilisée, il est cependant important de noter que les amplitudes relatives aux **décharges partielles** peuvent être différentes au début de l'application de la tension et après une durée importante sous la même tension d'essai.

11.5.2 Perturbations

Les informations données dans l'article 10 s'appliquent également aux essais sous tension continue. Toutefois, dans ce cas, des perturbations particulières régulièrement répétitives peuvent se produire, liées aux commutations de courant dans les redresseurs de la source de tension continue.

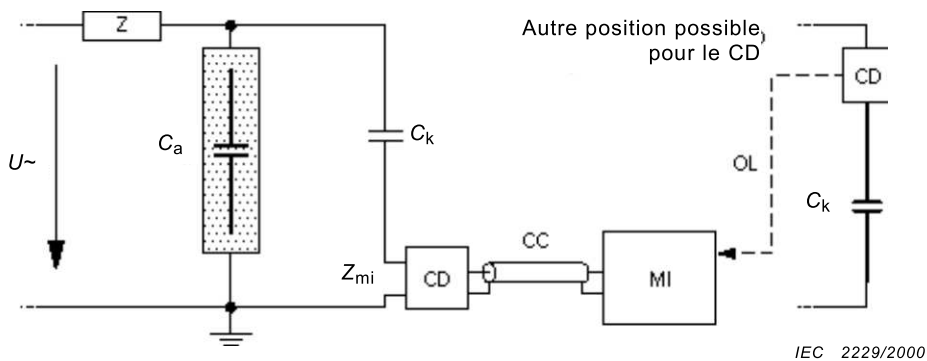


Figure 1a – Dispositif de couplage CD en série avec le condensateur de couplage

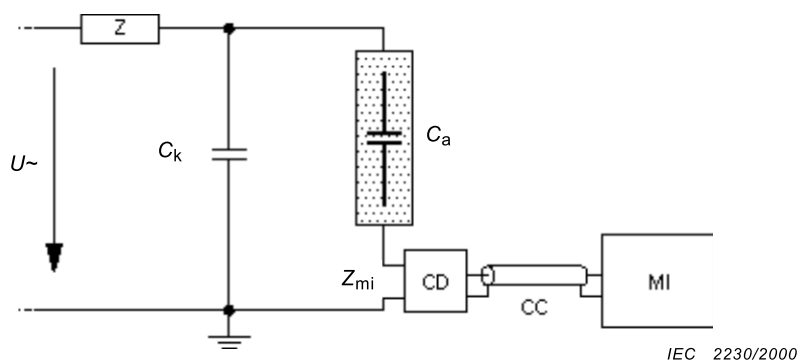
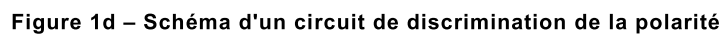


Figure 1b – Dispositif de couplage CD en série avec l'objet en essai

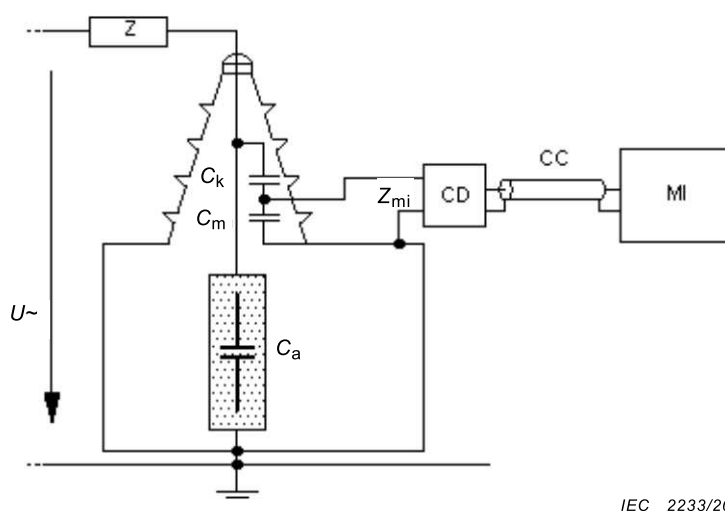
Composants

- $U_{\sim}$ source haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- OL lien optique
- C_a objet en essai
- C_k condensateur de couplage
- CD dispositif de couplage
- MI appareil mesureur
- Z filtre



- U_- source haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- OL lien optique
- C_a objet en essai
- C_k condensateur de couplage
- CD dispositif de couplage
- MI appareil mesureur
- Z filtre

Figure 1 – Circuits d'essai fondamentaux pour la mesure des décharges partielles

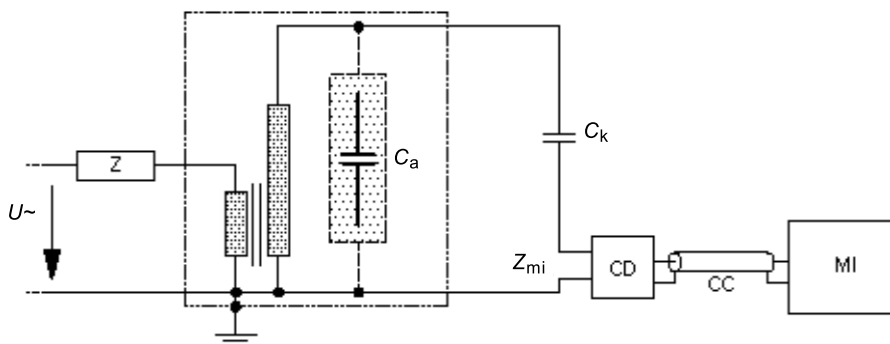


IEC 2233/2000

Composants

- $U_{\sim}$ source basse ou haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- C_k condensateur de couplage
- C_m capacité en parallèle à Z_{mi}
- CD dispositif de couplage
- C_a objet en essai
- MI appareil mesureur
- Z filtre

Figure 2 – Circuit d'essai pour une mesure faite à la prise d'une traversée

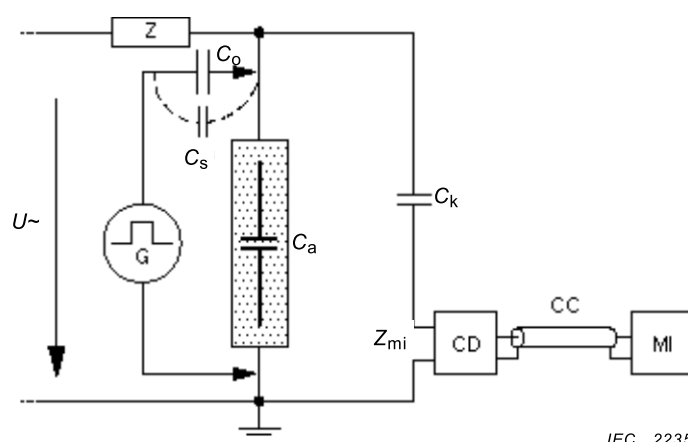


IEC 2234/2000

Composants

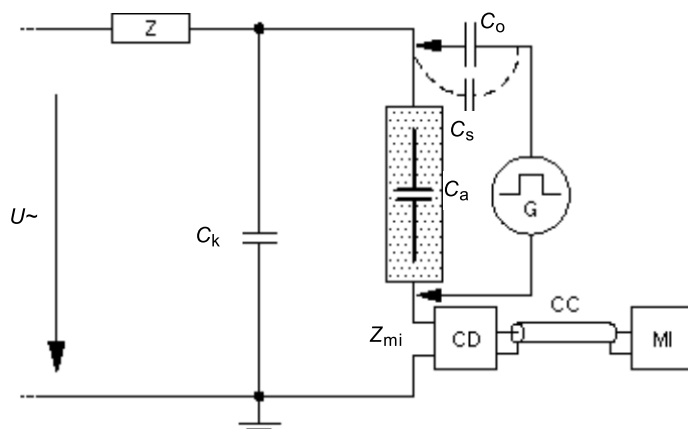
- $U_{\sim}$ source basse ou haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- C_k condensateur de couplage
- CD dispositif de couplage
- C_a objet en essai
- MI appareil mesureur
- Z filtre

Figure 3 – Circuit d'essai pour des objets auto-excités



IEC 2235/2000

Figure 4a – Dispositif de couplage CD en série avec le condensateur de couplage

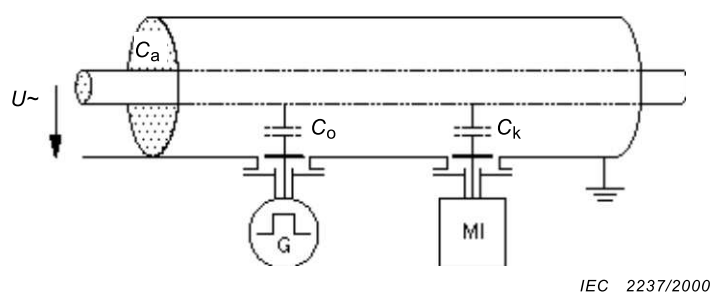


IEC 2236/2000

Figure 4b – Dispositif de couplage CD en série avec l'objet en essai

Composants

$U_{\sim}$	source haute tension
G	générateur d'échelon
C_o	condensateur d'étalonnage
Z_{mi}	impédance d'entrée du dispositif de mesure
CC	câble de liaison
C_a	objet en essai
C_k	condensateur de couplage
CD	dispositif de couplage
C_s	capacité parasite
MI	appareil mesureur
Z	filtre

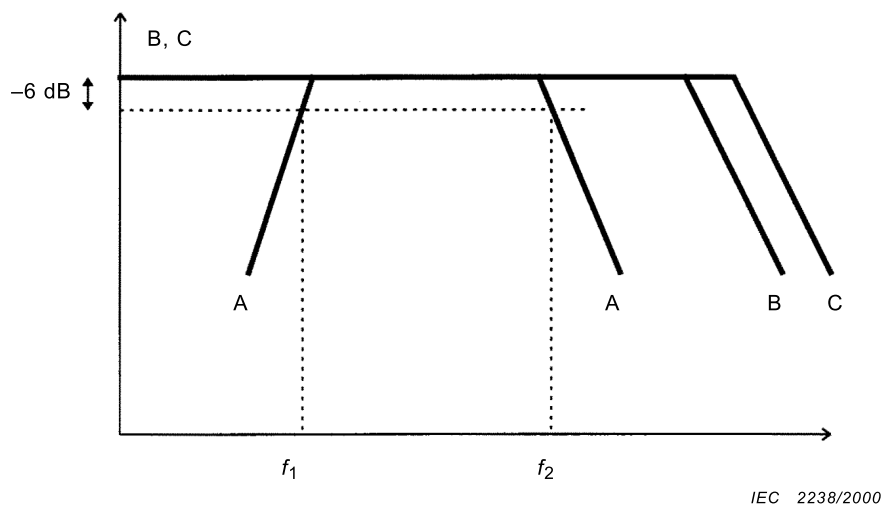


Composants

- $U_{\sim}$ source haute tension
- MI appareil mesureur
- C_a objet en essai
- C_k condensateur de couplage
- C_o condensateur d'étalonnage
- G générateur d'échelon

Figure 4c – Circuit d'essai pour la mesure dans les postes blindés

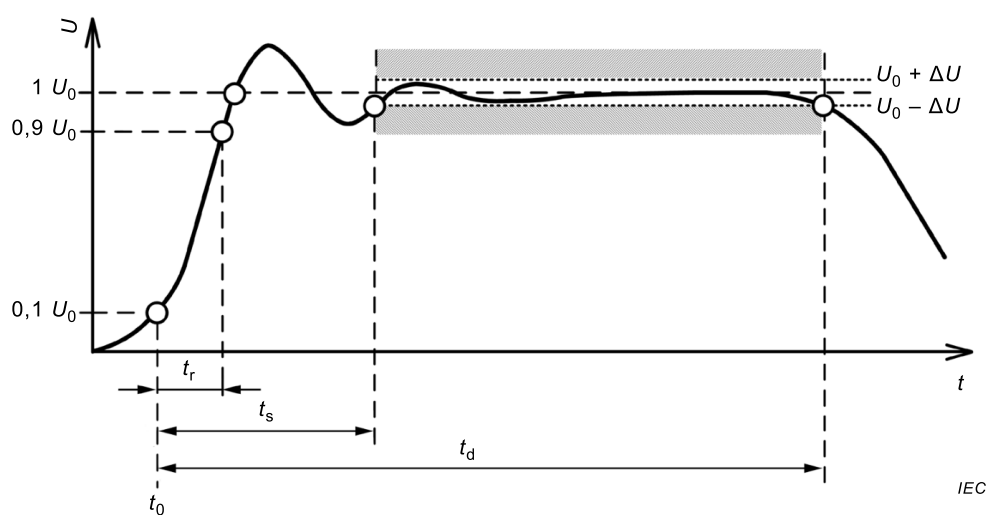
Figure 4 – Connexions pour l'étalonnage du montage d'essai complet



Légende

- A bande passante du système de mesure
- B spectre de fréquence en amplitude de l'impulsion de DP
- C spectre de fréquence en amplitude de l'impulsion de calibration
- f_1 fréquence limite inférieure
- f_2 fréquence limite supérieure

Figure 5 – Relation correcte entre l'amplitude et la fréquence pour minimiser l'erreur d'intégration pour un système de mesure à large bande



Légende

U_0	amplitude de l'échelon de tension	t_d	durée de l'échelon de tension
t_0	origine de l'échelon de tension	$(t_d - t_s)$	durée du régime établi
t_r	temps de montée de l'échelon de tension	ΔU	écart de tension absolu par rapport à U_0
t_s	temps jusqu'au régime établi		

Figure 6 – Paramètres d'un échelon de tension d'un dispositif d'étalonnage

Annexe A (normative)

Essai de détermination des caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage

A.1 Généralités

Les dispositifs d'étalonnage décrits dans l'article 6 servent à évaluer le **coefficient de conversion** k d'un système de mesure, utilisé pour quantifier les grandeurs relatives aux DP. Comme les caractéristiques de ces dispositifs d'étalonnage peuvent varier avec le temps, il convient d'effectuer des contrôles périodiques de ces caractéristiques (temps de montée t_r , précision de la charge spécifiée q) à des intervalles de temps réguliers et après des réparations. Les procédures suivantes peuvent être utilisées pour vérifier les dispositifs d'étalonnage.

A.2 Méthode de référence

La charge produite par le dispositif d'étalonnage doit être comparée à la charge produite par le dispositif d'étalonnage de référence. La charge doit être mesurée avec le même système de mesure dans les deux cas.

La traçabilité du dispositif d'étalonnage aux étalons nationaux doit être assurée.

NOTE Le système de mesure utilisé peut être un système de mesure de DP conforme à cette norme ou un oscilloscope numérique ayant des possibilités d'intégration (voir figure A.1a), ou un dispositif ayant une intégration électronique.

Le résultat de cet essai doit être obtenu en faisant la moyenne d'au moins 10 mesures.

A.3 Autre Méthode d'intégration numérique

Comme le montre la figure A.1a, la sortie du dispositif d'étalonnage en essai étant chargée par une résistance R_m , la tension $u_m(t)$ peut être mesurée à l'aide d'un oscilloscope numérique étalonné ayant une **bande passante**, au moins égale à 50 MHz. Il convient de choisir la valeur de R_m entre 50 Ω et 200 Ω . Les connexions entre le dispositif d'étalonnage et R_m ainsi que celles à l'oscilloscope doivent être courtes. La résistance d'entrée de l'oscilloscope peut contribuer à la valeur de R_m . Le circuit d'essai, y compris la résistance de mesure R_m , doit être tel que les oscillations de la forme d'onde enregistrée aient diminué à moins de 2 % de l'amplitude moyenne de l'échelon pendant le temps nécessaire à l'intégration.

Le résultat de cet essai doit être obtenu en faisant la moyenne d'au moins 10 mesures.

En se référant à la figure A.1a, la charge q délivrée par le dispositif d'étalonnage est

$$q = \int i(t) dt = \frac{1}{R_m} \int u_m(t) dt$$

où

$i(t)$ est l'impulsion de courant délivrée par le dispositif d'étalonnage;

$u_m(t)$ la tension de l'impulsion mesurée par l'oscilloscope.

Toutefois, la précision de la quantification de q est liée à la précision de la méthode d'intégration et à la précision de la valeur de R_m .

Sur la figure A.1b, deux enregistrements typiques de $u_m(t)$ sont fournis, ils correspondent à un dispositif d'étalonnage de valeur $C_0 = 141$ pF, et $R_m = 33$ Ω et $R_m = 200$ Ω respectivement. A noter que des valeurs trop faibles de R_m peuvent engendrer une impulsion de tension oscillante et conduire à des erreurs d'intégration plus importantes (et ainsi à une incertitude inacceptable).

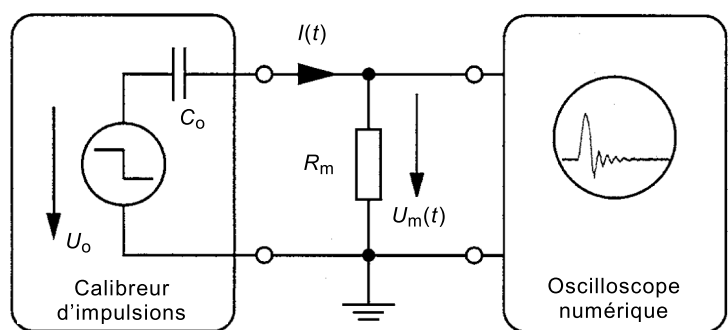
Le temps de montée réel t_r du dispositif d'étalonnage est approximativement égal à la durée de la première oscillation de tension (positive), si $R_m C_0 < t_r$. Cette inégalité est généralement satisfaite pour les faibles valeurs de R_m , si $C_0 \leq 150$ pF.

Pour s'assurer qu'il n'existe pas de trop grande dérive pour la réponse à des échelons rapides, il convient que le convertisseur numérique soit vérifié par des méthodes adaptées, comme par exemple celle décrite en A.2, sur toutes les gammes utilisées. Une réponse qui dérive peut conduire à une grande incertitude sur la charge calculée à l'aide d'un intégrateur numérique.

NOTE L'intégration de $u_m(t)$ peut en général être réalisée par des algorithmes intégrés dans les oscilloscopes numériques dans lesquels $\int u_m(t)dt$ est calculé. Comme la précision de cette procédure d'intégration peut être inconnue, il est proposé d'étalonner l'oscilloscope et l'algorithme utilisé pour le calcul de q en remplaçant le dispositif d'étalonnage en essai par une source de tension échelon d'amplitude U_{ref} placée en série avec une capacité de référence C_{ref} . En conséquence, les impulsions de courant $i(t)$ auront des formes et des charges identiques à celles des impulsions délivrées par le dispositif d'étalonnage en essai. Ainsi:

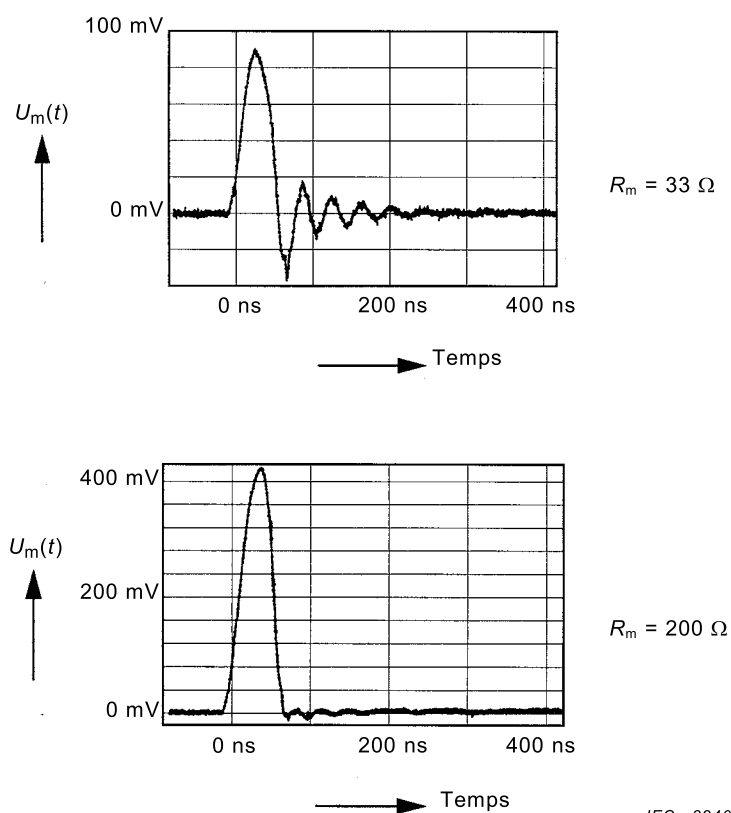
$$q_{ref} = U_{ref} \times C_{ref}$$

cette amplitude de la charge de référence q_{ref} est connue avec une incertitude qui est fixée par l'incertitude sur U_{ref} et C_{ref} uniquement, q_{ref} peut être utilisé pour vérifier la procédure ci-dessus.



IEC 2239/2000

Figure A.1a – Circuit de mesure



IEC 2240/2000

Figure A.1b – Impulsions d'étalonnage $u_m(t)$ d'un calibreur typique relié aux résistances de mesure $R_m = 33 \Omega$ et $R_m = 200 \Omega$ respectivement ($q = 100 \text{ pC}$)

Figure A.1 – Etalonnage des calibreurs d'impulsions

Les paramètres de tension et de temps de l'échelon de tension spécifiés en 6.1 et à la Figure 6 peuvent être déterminés si le courant traversant le condensateur d'étalonnage C_0 provoqué par l'échelon de tension U_0 est mesuré au moyen d'un shunt résistif R_m (voir Figure A.2). Ce shunt peut être par exemple une terminaison de traversée à faible inductance de 50 Ω . Dans ces conditions, la charge d'étalonnage peut être déterminée d'après une intégration numérique du signal de tension dépendant du temps $u_r(t)$ apparaissant aux bornes de R_m . Une attention particulière doit être portée à la tension de décalage qui doit être réglée sur zéro afin d'éviter toute erreur d'intégration.

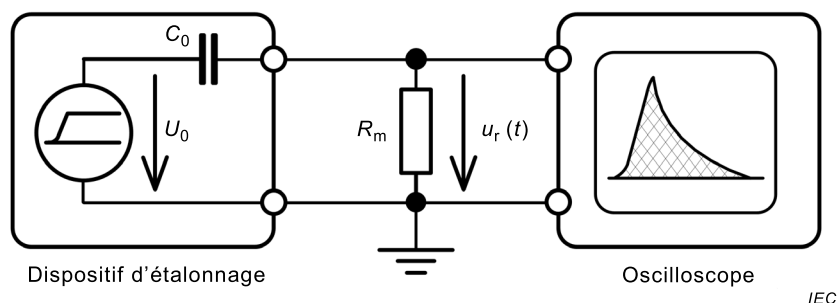


Figure A.2 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant l'intégration numérique

A.4 Méthode de la réponse à l'échelon de tension

La charge q_0 générée par le dispositif d'étalonnage peut également être déterminée en mesurant la tension transitoire apparaissant aux bornes d'un condensateur de mesure C_m à l'aide du circuit représenté à la Figure A.3 et [1]¹. Étant donné que la connexion en série de C_0 avec C_m comprend un diviseur de tension, l'amplitude U_c de la tension dépendant du temps $u_c(t)$ qui se produit aux bornes de C_m en conditions de régime établi est directement proportionnelle à l'amplitude de l'échelon de tension U_0 générée par le dispositif d'étalonnage:

$$U_c = U_0 \times C_0 / (C_0 + C_m)$$

La charge q_c transférée du dispositif d'étalonnage au condensateur de mesure C_m peut ainsi être exprimée par la formule suivante:

$$q_c = q_0 / (1 + C_0/C_m)$$

Avec la condition $C_m \gg C_0$, la charge q_c injectée dans C_m devient égale à cette valeur de charge q_0 créée par le dispositif d'étalonnage:

$$q_0 \approx q_c \approx U_c \times C_m$$

Pour garantir une incertitude de mesure inférieure à 3 %, il convient que la capacité de C_m sélectionnée ne soit pas inférieure à 10 nF. Celle-ci inclut à la fois la capacité du câble de connexion et la capacité d'entrée de l'oscilloscope. Dans ces conditions, une charge d'étalonnage $q_0 = 100$ pC produit une amplitude d'échelon de tension de $U_c \approx 10$ mV qui peut être mesurée avec l'incertitude désirée au moyen d'oscilloscopes numériques disponibles dans le commerce, en particulier si le mode de moyennage est utilisé. Pour des charges d'étalonnage $q_0 < 100$ pC, une intégration active du courant total circulant dans C_0 est recommandée pour améliorer l'amplitude du signal enregistrée par l'oscilloscope et garantir

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

l'incertitude de mesure spécifiée. Pour de plus amples informations à ce sujet, voir la référence [1].

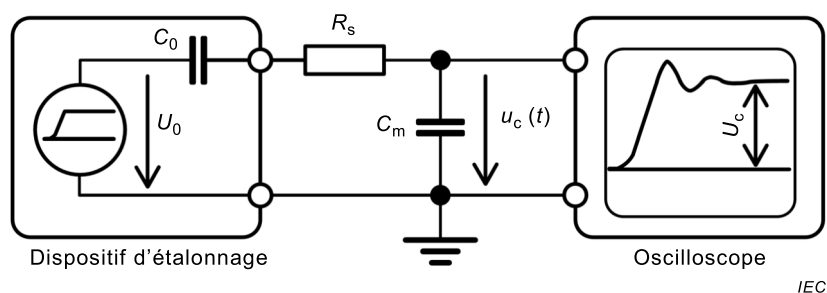
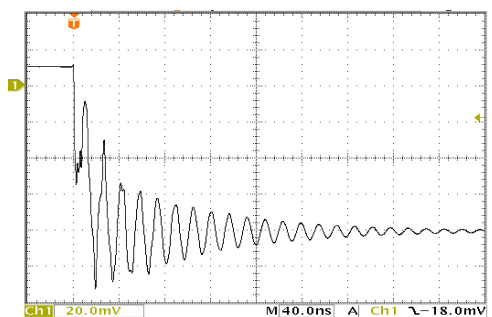


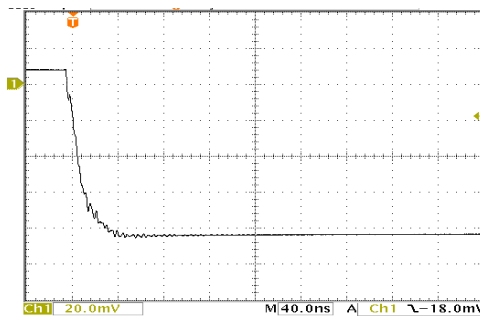
Figure A.3 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant la méthode de l'échelon de tension

Le circuit représenté à la Figure A.3 peut également être utilisé pour déterminer les paramètres de temps significatifs présentés en 6.1 et représentés à la Figure 6. Étant donné que la connexion en série de C_0 avec C_m comprend un diviseur de tension, la tension dépendant du temps $u_c(t)$ apparaissant aux bornes de C_m est directement proportionnelle à la tension dépendant du temps générée par le dispositif d'étalonnage. Pour ces mesures, il convient également de choisir une valeur de C_m de l'ordre de 10 nF, comme cela est recommandé pour déterminer la charge d'étalonnage. De plus, il convient de connecter C_m aussi près que possible de l'entrée de l'oscilloscope. Sinon, des oscillations superposées peuvent être excitées, comme cela est représenté à la Figure A.4. Pour atténuer ces oscillations perturbatrices, il convient de connecter en série une résistance supplémentaire R_s de l'ordre de 100 Ω aussi près que possible de la sortie du dispositif d'étalonnage. De plus, il convient que les conducteurs de la connexion entre le dispositif d'étalonnage et l'oscilloscope ne dépassent pas 1 m de long.



IEC

a) $R_s = 10 \Omega$



IEC

b) $R_s = 100 \Omega$

échelle de tension: 20 mV/div; échelle temporelle: 40 ns/div

Figure A.4 – Impact de la résistance en série R_s sur la réponse de l'échelon de tension apparaissant aux bornes de C_m utilisant le circuit de la Figure A.3, lorsque l'oscilloscope a été connecté au dispositif d'étalonnage via un câble de mesure de 50 Ω de 1 m de long

Annexe B (informative)

Circuits d'essai

A part alimenter l'objet en essai avec la tension d'essai, la raison principale d'un circuit d'essai de **décharges partielles** est de réaliser les conditions nécessaires pour détecter les **décharges partielles** dans l'objet en essai à une **tension spécifiée de décharges partielles**. Ces conditions sont optimum quand les différents composants du circuit d'essai sont coordonnés de façon à ce que les impulsions de courant qui vont résulter des **décharges partielles** aient des amplitudes et des formes les plus favorables à la détection.

Il existe quatre circuits de base dont sont dérivés tous les autres circuits d'essai pour la détection et la mesure des **décharges partielles**. Ces circuits, représentés sur les figures 1a à 1d, sont brièvement décrits ci-dessous.

A noter que pour ces circuits fondamentaux, l'amplitude minimale de toute grandeur relative aux DP pouvant être mesurée dépend du rapport C_k/C_a (voir l'article 9) et est limitée par les perturbations.

Dans le circuit de la figure 1a, le dispositif de couplage est inséré dans la branche de mise à la terre du condensateur de couplage (néanmoins, voir la note de 4.2). Ce montage a l'avantage de permettre l'essai d'objets dont une borne est reliée à la terre, l'objet en essai étant connecté directement entre la source haute tension et la terre. Le filtre ou l'impédance placé entre l'objet en essai et la source haute tension permet d'atténuer les perturbations venant de la source haute tension. Cela augmente également la sensibilité de la mesure en réalisant un blocage des impulsions de courant de DP venant de l'objet en essai et qui sinon seraient partiellement dérivées à travers l'impédance de la source.

Dans le circuit de la figure 1b, le dispositif de couplage est inséré dans la branche de mise à la terre de l'objet en essai. Pour cela, le côté basse tension de l'objet doit être isolé de la terre (néanmoins, voir la note de 4.2).

Il convient qu'un circuit de protection, conçu pour supporter le courant de claquage dans les objets en essai en cas de défaillance, soit incorporé au dispositif de couplage.

Pour des circuits d'essai comportant des capacités de faible valeurs, le circuit de la figure 1b donnera une plus grande sensibilité que celui de la figure 1a.

NOTE Un circuit sans condensateur de couplage réel est parfois utilisé. Il est semblable en principe à celui de la figure 1b, mais le rôle de C_k est joué par les capacités parasites. Un tel montage peut convenir si la capacité de l'objet en essai est petite par rapport à de la capacité parasite par rapport à la terre. Il peut convenir également si la capacité d'entrée du transformateur d'essai est au moins du même ordre de grandeur que C_a ceci en supposant que le filtre est omis.

Le circuit de la figure 1c comprend un circuit en pont équilibré dans lequel le mesureur est branché entre deux dispositifs de couplage. L'objet en essai et le condensateur de couplage doivent avoir, tous les deux, leurs côtés basse tension isolés de la terre (néanmoins, voir la note de 4.2). Il n'est pas nécessaire que leurs capacités soient égales, mais il convient qu'elles soient de préférence du même ordre de grandeur, et pour obtenir les meilleurs résultats, il convient que leurs facteurs de pertes diélectriques soient similaires, en particulier du point de vue de leur variation en fonction de la fréquence. Ce circuit, dont le fonctionnement est basé sur le rejet des courants de mode commun par l'intermédiaire de C_a et de C_{a1} , mais qui amplifie les courants de **décharges partielles** issus de l'objet en essai, a l'avantage de rejeter partiellement les perturbations extérieures. Pour ajuster le taux de réjection, une source de décharges artificielle peut être connectée entre l'extrémité haute tension et la terre.

Les impédances d'entrée variables des dispositifs de couplage équilibré sont ajustées de façon à rendre minimale la valeur indiquée par l'appareil de mesure. On peut obtenir des rapports de réjection d'environ 3 (pour des objets en essai de valeurs très différentes) à 1 000 et même plus (pour des objets en essai de valeurs identiques et parfaitement blindés).

Le circuit présenté sur la figure 1d est une combinaison des deux circuits fondamentaux des figures 1a et 1b. Il comprend deux capacités, dont l'une ou l'autre, ou les deux, peuvent être les objets en essai. Ces capacités sont connectées à deux dispositifs de couplage. Dans le montage présenté, le côté basse tension des deux éléments est isolé de la terre (voir toutefois la note de 4.2). Il n'est pas nécessaire que les deux capacités soient égales, mais il convient qu'elles soient du même ordre de grandeur. Le principe ne repose pas sur un circuit en pont équilibré, mais compare les sens d'écoulement des signaux impulsionnels dans les deux dispositifs de couplage. (Les signaux de mode commun seront détectés comme ayant des polarités identiques; les signaux de **décharges partielles** issus de l'un ou l'autre élément seront détectés comme ayant des polarités opposées). Un système de sélection des signaux peut être utilisé pour discriminer les **impulsions de décharges partielles** provenant de l'objet en essai des perturbations provenant d'autres parties du circuit d'essai.

A partir de ces circuits fondamentaux, de nombreuses variantes peuvent être obtenues. Le montage représenté sur la figure 2, qui s'applique à des objets équipés de traversées à répartition capacitive, est équivalent à celui de la figure 1a, mis à part que la capacité de la traversée remplace le condensateur de couplage C_k . Si la traversée a une prise, le dispositif de couplage y est connecté; dans ce cas, une capacité C_m relativement grande se trouve mise en parallèle avec l'impédance d'entrée du dispositif de couplage ce qui peut affecter la sensibilité de la mesure.

La figure 3 représente un circuit d'essai dans lequel la tension d'essai est induite dans l'objet essayé, par exemple un transformateur de puissance ou un transformateur de mesure. En principe, cette configuration est équivalente à celle indiquée à la figure 1a.

Annexe C (informative)

Mesures sur des câbles, postes à enveloppe métallique, condensateurs de puissance et objets en essai comprenant des enroulements

C.1 Généralités

En principe, l'un quelconque des circuits d'essais décrits à l'annexe B peut être utilisé avec ces objets en essai, c'est-à-dire avec des objets comportant des capacités et des inductances réparties. Pour certains de ces objets, la tension d'essai peut être induite; par exemple, l'enroulement haute tension d'un transformateur peut être excité par l'enroulement basse tension (figure 3).

Une étude détaillée des mesures de **décharges partielles** dans des objets à constantes réparties, dans lesquels on observe des ondes progressives et des phénomènes de couplage capacitif et inductif complexes, n'est pas du domaine de la présente norme. Les points suivants sont, toutefois, d'une grande importance et sont particulièrement portés à l'attention des comités d'études concernés.

C.2 Phénomènes d'atténuation et de distorsion

En raison des phénomènes d'atténuation et de distorsion des ondes progressives dans les enroulements ou à l'intérieur de postes à enveloppe métallique et dans les câbles, l'amplitude de la **charge apparente** relevée à une extrémité de l'objet en essai peut être différente de celle au point où la décharge se produit. Cette différence est généralement corrélée à la caractéristique de bande passante du système de mesure. Il peut être possible d'en évaluer les effets en comparant l'amplitude (et si possible la forme d'onde) de la réponse à une impulsion d'étalonnage lorsqu'elle est injectée à l'autre extrémité de l'objet en essai et lorsqu'elle est injectée à l'extrémité connectée au dispositif de couplage.

C.3 Phénomènes de résonance, réflexions

L'amplitude relevée à une extrémité d'un condensateur de grande puissance, d'un enroulement, d'un poste à enveloppe métallique ou d'un câble en essai peut être modifiée par des phénomènes de résonance ou par des réflexions aux extrémités. Cela est particulièrement important si la bande passante du mesureur utilisé est étroite. Les phénomènes de réflexion (dans les câbles, par exemple) peuvent être pris en compte à l'aide de techniques spéciales d'étalonnage, comme l'utilisation d'un générateur d'impulsions doubles, ou leurs effets néfastes peuvent être éliminés en utilisant des techniques spéciales.

NOTE Lors des mesures de décharges partielles dans des condensateurs de grande puissance il peut y avoir des problèmes pour atteindre la sensibilité de mesure souhaitée.

C.4 Localisation des décharges

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour localiser les **décharges partielles** dans des objets comportant des éléments à constantes réparties. Certaines de ces méthodes sont fondées sur des mesures simultanées effectuées à deux ou plusieurs extrémités de l'objet en essai. Des méthodes non électriques comme celles discutées dans l'annexe F peuvent également être utilisées.

Annexe D (informative)

Utilisation de mesureurs de perturbations (interférences) radioélectriques pour la détection des décharges partielles

Des appareils conformes aux spécifications du Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR) de l'IEC ou d'autres organismes similaires sont d'un usage courant. De tels appareils servent souvent à mesurer des «tensions, courants et champs d'interférences radioélectriques» (voir le CISPR 16-1:1993) sur une large gamme de fréquence, en utilisant différents traitements de la grandeur d'entrée. Dans le cadre de la présente norme, toutefois, l'expression «**mesureur de perturbations radioélectriques**» ne s'applique qu'à un appareil de mesure des perturbations (interférences) radioélectriques spécifique, prévu pour fonctionner dans une bande de fréquences de 150 kHz à 30 MHz (bande B), et qui répond aux exigences d'un récepteur mesurant la valeur quasi-crête.

La réponse de tels **mesureurs de perturbations radioélectriques** à des tensions d'impulsions de très courte durée est, avant tout, parfaitement déterminée par la relation générale bande passante sélectivité, c'est-à-dire par les caractéristiques du filtre passe-bande ayant une **largeur de bande** Δf , qui est indépendante de la **fréquence centrale** f_m . Cette réponse est ensuite pondérée par un circuit de mesure de la valeur quasi-crête, dont la constante de temps de charge est τ_1 et la constante de temps de décharge est τ_2 , et par un voltmètre de sortie qui, pour les appareils conventionnels, est du type à cadre mobile, avec un amortissement critique et possédant une constante de temps mécanique τ_3 . Des équipements plus modernes fournissent des lectures équivalentes à partir de circuits électroniques sophistiqués.

Dans le cas d'une d'entrée constante et purement résistive, les caractéristiques de tels appareils font qu'ils répondent essentiellement à la charge de l'impulsion de courant de très courte durée injectée à l'entrée, dont l'amplitude du spectre de fréquence est constante pour la **fréquence centrale** f_m utilisée pendant la mesure. Cependant, en raison du circuit de mesure de valeur quasi-crête de cet appareil, des impulsions de même charge mais de **taux de répétition** différents, conduiront à des lectures différentes sur l'appareil.

Pour des impulsions de courant d'entrée de très courte durée, régulièrement répétitives et de charge q , l'indication du mesureur U_{TPR} est donnée par:

$$U_{TPR} = \frac{q \times \Delta f \times Z_m \times f(N)}{k_i}$$

où

N est la fréquence de répétition des impulsions;

$f(N)$ est la fonction non linéaire de N (voir la figure D.1);

Δf est la bande passante de l'appareil (à 6 dB);

Z_m est la valeur purement résistive de l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure;

k_i est le **coefficient de conversion** de l'appareil ($= q/U_{TPR}$).

La **fréquence de répétition des impulsions** N n'est pas équivalente au **taux de répétition des impulsions** n .

Un **mesureur de perturbations radioélectriques**, conçu pour être un voltmètre quasi-crête et pour lequel est spécifiée la bande de fréquence B (0,15 MHz à 30 MHz), aura une **bande passante** Δf de 9 kHz à 6 dB et des constantes de temps $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms et $\tau_3 = 160$ ms.

Pour cet appareil, des impulsions courtes et constantes de 0,16 μ Vs appliquées avec une **fréquence de répétition des impulsions** N régulière égale à 100 par seconde donneront la

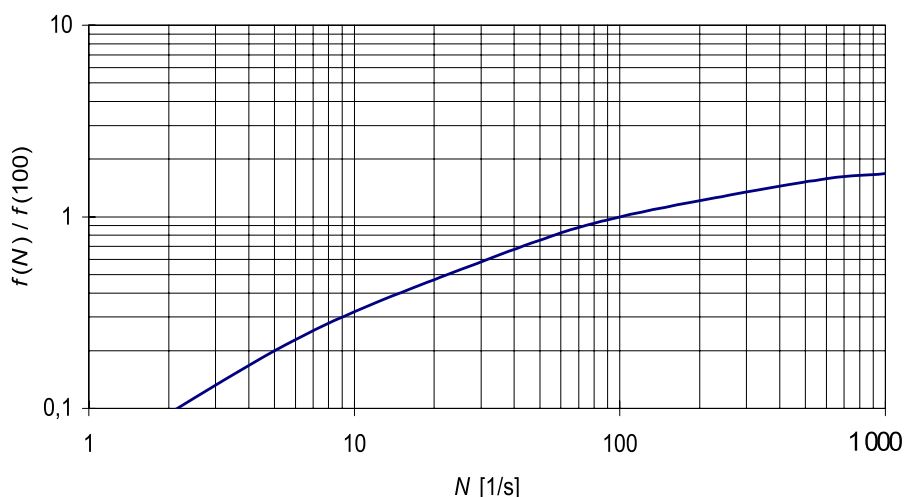
même lecture qu'avec un signal d'entrée sinusoïdal d'une valeur efficace de $1\,000\ \mu\text{V}$ efficaces à la fréquence d'accord. La variation de la lecture de cet appareil avec N est représentée sur la figure D.1. Quantitativement, ces appareils indiquent $1\ \mu\text{V}$ pour $Z_m = 60\ \Omega$, $N = 100$ et $q \approx 3\ \text{pC}$.

NOTE Il n'existe pas de coefficient de conversion généralement applicable entre les lectures des **tensions de parasites radioélectriques**, telles que mesurées à l'aide d'un mesureur quasi-crête, et la **charge apparente**.

Si des **mesureurs de perturbations radioélectriques** de type quasi-crête sont utilisés pour les mesures des DP, un dispositif de couplage, tel que défini en 4.3.2 doit être utilisé avec cet appareil. Il convient donc qu'il soit étalonné et contrôlé dans le circuit d'essai réel, au moyen de dispositifs d'étalonnage de **décharges partielles** conformes à l'article 5. Il est recommandé, à cet effet, d'appliquer des impulsions q_0 , régulièrement espacées, ayant un **taux de répétition N** approximativement égal à deux fois la fréquence de la tension d'essai.

Ceci permettra au mesureur de donner une approximation de la valeur de la **charge apparente** pendant un essai réel au voisinage de la tension d'apparition, lorsque le nombre d'impulsions par période est petit. L'**amplitude de la charge apparente** dans ces conditions est alors obtenue approximativement en multipliant q_0 par le rapport des lectures de l'appareil pendant l'essai et pendant l'étalonnage. Cette relation est encore valable dans une gamme limitée de **taux de répétition des impulsions**, lorsque la variation des lectures dues au facteur $f(N)$ est petite.

Chaque fois que des mesures sont effectuées avec un **mesureur de perturbations radio-électriques**, il convient que le rapport d'essai comprenne les lectures obtenues, en microvolts, et les valeurs de la **charge apparente** équivalentes, en picocoulombs, ainsi que les informations appropriées concernant la détermination du **coefficient de conversion**.



IEC 2241/2000

Figure D.1 – Variation de la lecture $f(N)$ du mesureur de perturbations radioélectriques du CISPR avec la fréquence de répétition N , pour des impulsions constantes

Annexe E (informative)

~~Directives sur l'acquisition numérique des grandeurs relatives aux décharges partielles~~ Appareils de mesure de DP

E.1 Généralités

Pour traiter le signal de DP reçu par les bornes de l'objet soumis à essai au moyen d'un dispositif de couplage, comprenant un condensateur de couplage combiné avec une impédance de mesure, il est possible d'appliquer aussi bien le traitement de signal de DP analogique que le traitement numérique. Les principaux éléments des appareils de mesure de DP analogiques et numériques sont représentés aux Figures E.2 et E.3 respectivement.

Outre les trains d'impulsions de DP, il convient de numériser un signal en courant alternatif issu de la tension d'essai pour permettre l'affichage des motifs de DP caractéristiques résolus en phase, comme représenté à la Figure E.4.

L'objectif principal de l'utilisation des techniques numériques pour les mesures de DP est fondé sur le fait d'enregistrer une **impulsion de DP** quantifiée par au moins sa **charge apparente** q_i et la valeur instantanée de la tension u_i existant à l'instant t_i ou, pour des tensions alternatives, l'angle de phase d'occurrence ϕ_i dans la période de la tension d'essai. Comme, cependant, la qualité des matériels et logiciels utilisés peut limiter la précision et la résolution des mesures de ces paramètres, cette annexe fournit des recommandations qui sont importantes pour détecter et enregistrer les séquences de décharges.

L'objectif principal peut être séparé en deux objectifs secondaires:

- l'enregistrement, le stockage et l'évaluation d'au moins une ou plusieurs grandeurs relatives aux **impulsions de DP**;
- le post traitement des données enregistrées pour évaluer et représenter des paramètres complémentaires et d'autres grandeurs (par exemple des données statistiques à l'intérieur de la fenêtre temporelle ou au cours du temps; applications de techniques numériques pour réduire le niveau de perturbations; présentation des résultats sous la forme de graphiques; évaluation de paramètres, qui peuvent être utilisés pour une analyse plus approfondie de la qualité de l'isolation de l'objet en essai, etc.).

NOTE Les systèmes de mesure numériques sont souvent assistés par ordinateur pour le stockage, ainsi que pour l'évaluation des grandeurs relatives aux **impulsions de DP**.

Ce deuxième objectif secondaire n'est pas traité dans cette norme. Toutefois, l'attention des comités d'études est attirée sur ces possibilités.

Dans le cas de l'analyse du comportement temporel des grandeurs liées aux DP, une compression des données enregistrées peut être effectuée. Pour ce faire, différentes méthodes de réduction peuvent être utilisées. Il convient que les constructeurs de systèmes numériques indiquent, toutefois, les principes utilisés pour la compression des données.

E.2 Instructions pour le traitement des signaux analogiques de la charge apparente

La caractéristique principale d'un **appareil numérique de mesure des DP** est sa capacité à traiter les signaux de réponse individuels des appareils de mesure analogiques de la **charge apparente**. En règle générale, on peut supposer que la valeur de crête de ces signaux de réponse est proportionnelle à la charge individuelle q_i d'une impulsion de courant de DP. Alors que les appareils analogiques affichent ces valeurs de crête en se servant d'oscilloscopes ou de voltmètres de crête, l'appareil numérique doit quantifier et stocker, avec une

précision adéquate, les valeurs de crête individuelles q_i (avec leurs polarités, si possible), ainsi que le temps t_i ou l'**angle de phase** ϕ_i de l'occurrence. La forme des signaux de réponse est très dépendante des caractéristiques des systèmes de mesure et quelque peu dépendante de la forme de l'impulsion individuelle de courant, la procédure de traitement doit être adaptée à la forme des signaux de réponse, de façon à pouvoir indiquer la valeur crête (positive ou négative) qui est supposée être proportionnelle à la charge individuelle q_i de la DP.

Pour illustrer ce problème, la figure E.1 montre trois signaux de tension de sortie produits par deux **décharges partielles** consécutives. Les figures E.1a et E.1b montrent les signaux de sortie d'un système de mesure type à large bande, dont les caractéristiques de fréquence sont indiquées dans la légende. Le signal de sortie de la figure E.1c est typique d'un système de mesure simple à bande étroite avec $\Delta f \approx 10$ kHz et $f_m \approx 75$ kHz pour lequel la réponse est quasi symétrique par rapport à la ligne de base de la tension. Bien que cependant aucune de ces trois réponses ne soit influencée de façon importante par l'**erreur de superposition**, c'est-à-dire que le temps de résolution T_r est encore adéquat pour les deux appareils, l'évaluation correcte de l'amplitude et de la polarité de la première crête devient difficile, compte tenu de la présence de plusieurs crêtes de polarités différentes. Dans le cas de systèmes à large bande, la première crête sert souvent à déterminer à la fois la **charge apparente** q et la polarité de l'impulsion de courant de la **décharge partielle**. Pour ce qui a trait à la réponse de l'appareil à bande étroite de la figure E.1c, l'information sur la polarité demeure généralement indéterminée, et la plus grande crête de la réponse est la meilleure mesure de q . Cependant, pour les deux systèmes, une seule valeur de crête (ou de q_i) doit être quantifiée et enregistrée comme valeur de la **charge apparente** pendant le **temps de résolution** T_r des impulsions du système de mesure.

Les figures E.1a et E.1b illustrent une difficulté qui se présente parfois avec les systèmes de mesure à large bande: la durée et la forme d'une impulsion de courant de DP, qui sont influencées par le mécanisme de la décharge et par la conception de l'objet en essai, peuvent être telles que la seconde crête du signal de réponse ait une amplitude supérieure à celle de la première crête. Dans de telles situations, il est difficile de reconnaître la polarité et de déterminer l'amplitude de la première crête, ainsi la réponse d'un appareil numérique de mesure des DP d'un fabricant donné dépendra de la conception de son appareil. Il convient que les fabricants de ces appareils précisent donc le principe utilisé pour acquérir, quantifier et enregistrer les intensités et les polarités correctes. Le fabricant doit aussi démontrer les fonctions propres de l'appareil par des procédures d'essai particulières.

E.3 Recommandations pour enregistrer la tension d'essai, l'angle de phase ϕ_i et l'instant t_i d'occurrence d'une impulsion de DP

Pour identifier la forme d'une tension d'essai $u(t)$ à fréquence industrielle, il convient que l'appareil numérique quantifie la tension d'essai au moins pendant les intervalles de temps au cours desquels les valeurs q_i sont enregistrées. Il est toutefois recommandé de faire une quantification continue au cours de chaque période d'application de la tension d'essai.

Comme l'angle de phase ϕ_i ou l'instant t_i des systèmes à tension alternative doivent être quantifiés par rapport au passage par zéro du front montant de la tension d'essai $u(t)$, il est nécessaire que le système de mesure donne une vraie représentation de la phase de la tension d'essai.

Si l'écart de la valeur instantanée de la tension d'essai, lue par l'appareil de mesure numérique de **décharges partielles**, par rapport à la valeur instantanée lue par un système de mesure de référence est inférieur à 5 % de la valeur crête de la tension, l'appareil numérique est habilité à enregistrer la phase de la tension d'essai. Les **coefficients de conversion** appropriés pour les deux systèmes de mesure de tension doivent être appliqués. Le système de mesure de référence doit être composé d'un appareil adéquat connecté à la partie basse tension d'un diviseur de tension conforme à la norme IEC 60060-2, pour la tension alternative. Il est recommandé de montrer de façon indépendante que l'erreur sur la phase du système de mesure est inférieure à 5 degrés.

Pour la quantification de la tension d'essai, une résolution nominale minimale de 8 bits est recommandée. Le fréquence d'échantillonnage f_s de la quantification doit être d'au moins 100 échantillons par période de la tension d'essai à fréquence industrielle, ou de 4 000 échantillons par seconde pour les tensions d'essai continues. Puisqu'un échantillonnage périodique est recommandé, la détermination des valeurs u_i de la tension d'essai qui apparaît à des instants précis t_i entre les échantillons peut être obtenue par interpolation.

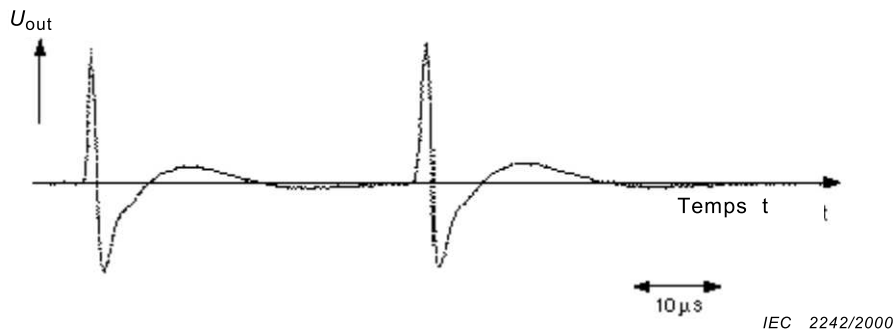


Figure E.1a – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, impulsion d'entrée de courte durée

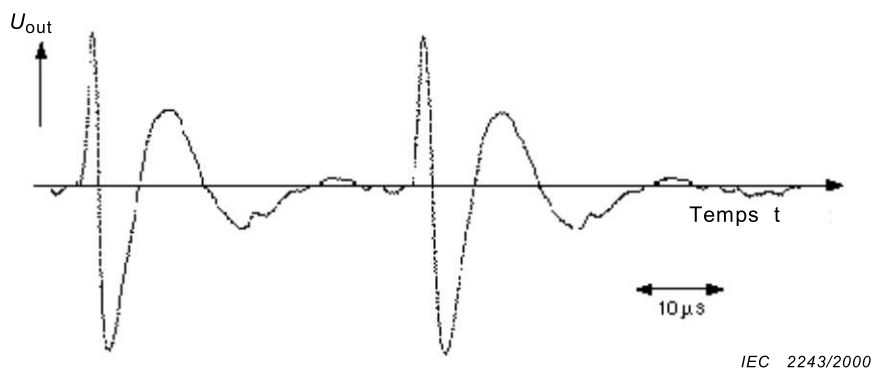


Figure E.1b – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, impulsion d'entrée allongée

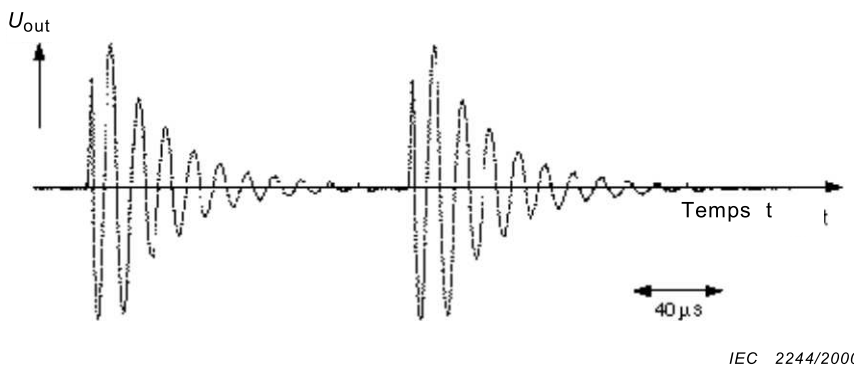
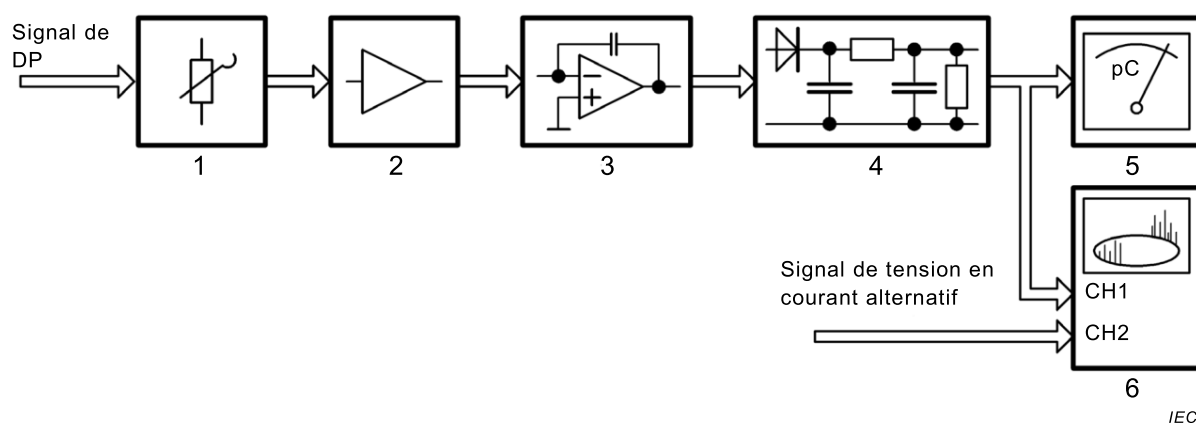


Figure E.1c – $\Delta f = 10$ kHz; $f_m = 75$ kHz

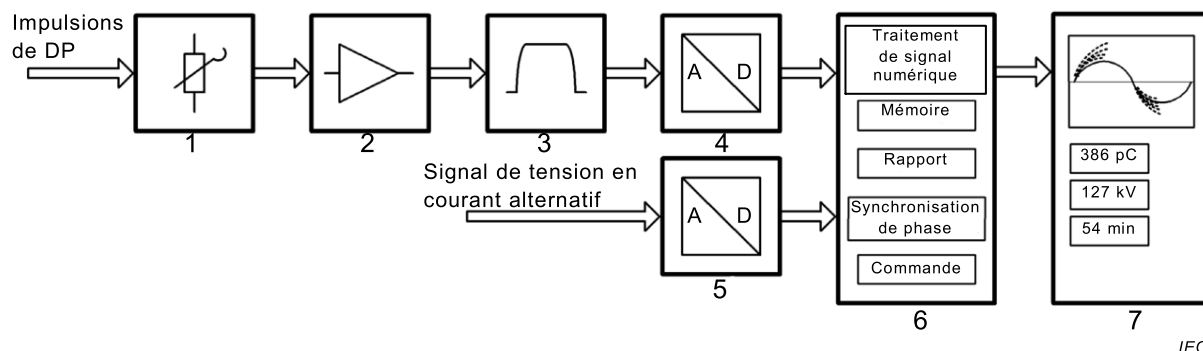
Figure E.1 – Signaux de tension de sortie U_{out} de deux dispositifs de mesure différents pour la charge apparente (double impulsion)



Légende

1	Atténuateur	4	Détecteur de crête et unité d'évaluation
2	Amplificateur	5	Instrument de relevé
3	Intégrateur électronique	6	Unité de visualisation

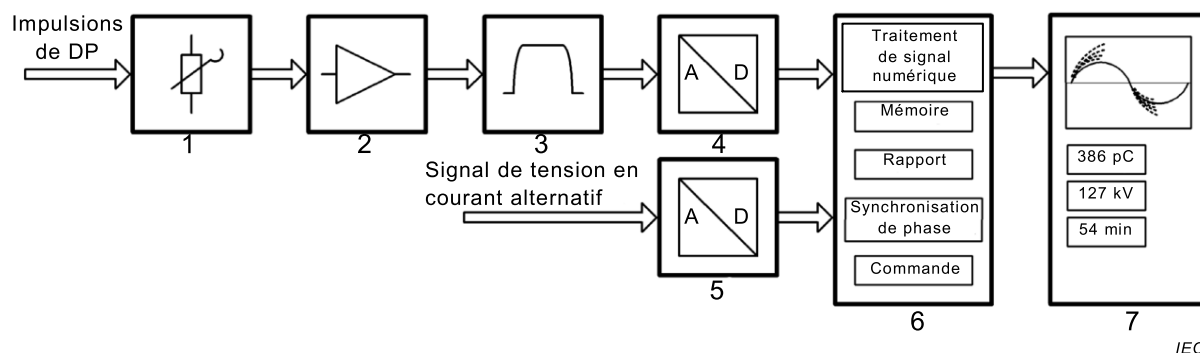
Figure E.2 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP analogique équipé d'un intégrateur électronique



Légende

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Atténuateur | 4 | Intégrateur numérique |
| 2 | Convertisseur A/N pour impulsions de DP | 5 | Convertisseur A/N pour tension alternative |
| 3 | Filtre passe-bande numérique | 6 | Unité d'acquisition |
| | | 7 | Unité d'évaluation et de visualisation |

a) Conversion A/N directe des impulsions de DP d'entrée

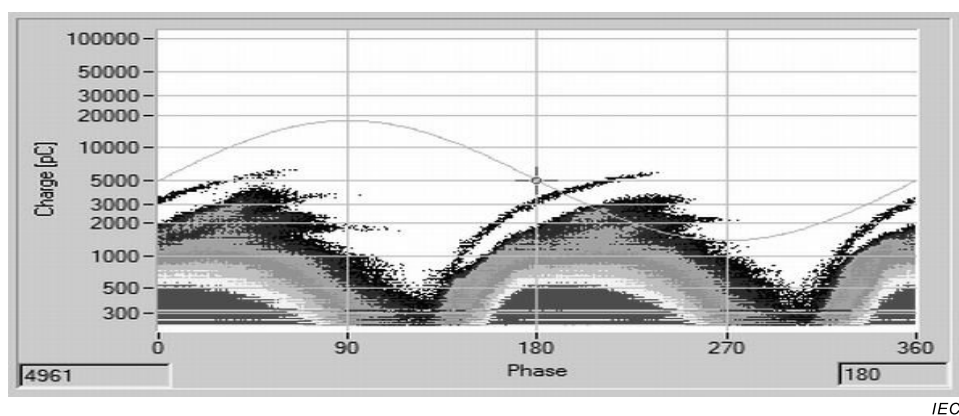


Légende

- | | | | |
|---|--------------------|---|---|
| 1 | Atténuateur | 4 | Convertisseur A/N pour impulsions de charge apparente |
| 2 | Amplificateur | 5 | Convertisseur A/N pour signal de tension alternative |
| 3 | Filtre passe-bande | 6 | Unité d'acquisition |
| | | 7 | Unité d'évaluation et de visualisation |

b) Intégration des impulsions de DP d'entrée utilisant un filtre passe-bande suivie d'une conversion A/N

Figure E.3 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP numérique



NOTE Les impulsions de DP apparaissant dans le demi-cycle négatif de la tension d'essai ont été inversées et apparaissent ainsi comme des impulsions positives. En raison des importantes amplitudes de diffusion de DP, le mode d'affichage logarithmique a été utilisé.

Figure E.4 – Exemple de motif de DP résolu en phase

Annexe F (informative)

Méthodes non électriques de détection de DP

F.1 Généralités

Les méthodes non électriques de détection des **décharges partielles** comprennent des méthodes acoustiques, optiques et chimiques, ainsi que l'observation des effets des décharges sur l'objet en essai, lorsqu'elle peut être faite après l'essai.

Ces méthodes ne conviennent généralement pas aux mesures quantitatives des grandeurs relatives aux **décharges partielles** telles que définies dans la présente norme, mais elles sont essentiellement utilisées pour détecter et/ou localiser les décharges.

F.2 Détection acoustique

Des observations auditives faites dans une salle à faible niveau de bruit, peuvent être utilisées comme moyen de détection des **décharges partielles**.

Des mesures acoustiques non subjectives, généralement faites avec des microphones ou d'autres transducteurs acoustiques utilisés avec des amplificateurs et des dispositifs d'affichage adéquats, peuvent aussi être utiles, particulièrement pour localiser les décharges. Des microphones à sélectivité directionnelle et à haute sensibilité dans le domaine des fréquences ultrasonores conviennent pour localiser des décharges dues à l'effet couronne dans l'air. Des transducteurs acoustiques peuvent également être utilisés pour localiser des décharges dans les postes à enveloppe métallique ou dans l'équipement immergé dans l'huile tels que des transformateurs; ils peuvent être situés à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve.

F.3 Détection visuelle ou optique

Les observations visuelles peuvent être effectuées dans une salle obscure, après un temps d'adaptation des yeux à l'obscurité et, au besoin, à l'aide de jumelles à grande ouverture. On peut également faire un enregistrement photographique, mais des temps d'exposition assez longs sont généralement nécessaires. Des photomultiplicateurs ou des amplificateurs d'image sont parfois utilisés pour des applications particulières.

F.4 Détection chimique

La présence de **décharges partielles** dans l'appareillage isolé à l'huile ou au gaz peut être détectée dans certains cas en procédant à l'analyse des produits de décomposition dissous dans l'huile ou le gaz. Ces produits s'accumulent au cours de périodes de fonctionnement prolongées. L'analyse chimique peut donc aussi servir à évaluer la dégradation qui a été causée par les **décharges partielles**.

F.5 Documents de référence

Pour des informations supplémentaires voir aussi:

IEC 60567:1992, *Guide d'échantillonnage de gaz et d'huile dans les matériels électriques immergés, pour l'analyse des gaz libres et dissous*

IEC 60599:1999, *Matériels électriques imprégnés d'huile minérale en service – Guide pour l'interprétation de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres*

IEC 61181:1993, *Matériaux isolants imprégnés – Application de l'analyse des gaz dissous (DGA) lors d'essais en usine de matériels électriques*

Annexe G (informative)

Perturbations

G.1 Sources de perturbations

Les mesures quantitatives des grandeurs relatives aux **décharges partielles** sont souvent brouillées par les interférences causées par des perturbations qui se classent en deux catégories:

- Les perturbations qui se produisent même lorsque le circuit d'essai n'est pas alimenté. Elles proviennent par exemple de manœuvres dans d'autres circuits, de machines à collecteur, d'essais à haute tension exécutés à proximité, d'émissions radioélectriques, etc., y compris le bruit propre de l'appareil de mesure lui-même. Elles peuvent également se produire lorsque l'alimentation haute tension est connectée au circuit d'essai, avec une tension nulle.
- Les perturbations qui existent seulement lorsque le circuit est alimenté, mais qui ne se produisent pas dans l'objet en essai. Ces perturbations augmentent généralement avec la tension d'essai. Elles peuvent comprendre par exemple des **décharges partielles** dans le transformateur d'essai, sur les conducteurs à haute tension ou dans des traversées (lorsqu'elles ne font pas partie de l'objet en essai). Des perturbations peuvent également provenir d'amorçages dus à une mise à la terre imparfaite d'objets voisins ou de contacts défectueux entre pièces portées à la haute tension, par exemple des amorçages entre des répartiteurs et d'autres conducteurs haute tension reliés aux répartiteurs pour les besoins de l'essai. Des perturbations peuvent également être provoquées par les harmoniques de rang élevé de la tension d'essai qui sont dans ou proches de la **bande passante** du système de mesure. De tels harmoniques élevés sont souvent présents dans la source basse tension en raison de la présence de dispositifs de commutation à semi-conducteurs (thyristors, etc.) et sont transmis, avec les bruits de décharges d'amorçage, par l'intermédiaire du transformateur d'essai ou d'autres connexions, aux circuits d'essai et de mesure.

Pour le cas des perturbations lors des essais sous tension continue, voir 11.5.2.

G.2 Détection des perturbations

Les sources indépendantes de tension peuvent être décelées par la lecture du mesureur en l'absence d'alimentation du circuit d'essai et/ou lorsque la source haute tension est branchée au circuit d'essai et que la tension est nulle. La valeur lue sur l'appareil constitue une mesure de ces perturbations.

Les sources de perturbations dépendant de la tension peuvent être détectées de la façon suivante: l'objet en essai est soit retiré, soit remplacé par un condensateur équivalent ne présentant pas de **décharges partielles** significatives à la tension d'essai spécifiée. Il convient que le circuit soit étalonné à nouveau suivant la procédure indiquée dans l'article 5. Ensuite, le circuit peut être mis sous tension jusqu'à la pleine valeur de la tension d'essai.

Si le niveau de perturbations dépasse 50 % de l'amplitude de décharge maximale spécifiée pour l'objet en essai, il convient que des dispositions soient adoptées pour réduire les perturbations. On pourra utiliser pour cela une ou plusieurs des méthodes décrites auparavant. Il est incorrect de retrancher le niveau des perturbations de la valeur de l'amplitude des **décharges partielles** mesurées.

L'emploi d'un oscilloscope comme appareil de mesure à titre indicatif ou l'évaluation des grandeurs relatives aux DP acquises numériquement peut aider l'opérateur à faire la distinction entre les **décharges partielles** se produisant dans l'objet en essai et les perturbations externes, par exemple le **bruit de fond**; cela permet parfois de déterminer le type de perturbations ou d'identifier le type de **décharges partielles**.

D'autres méthodes électriques ou non électriques de détection (annexe F) sont souvent utiles pour localiser l'effet de couronne sur les conducteurs haute tension ou des décharges n'importe où dans la zone d'essai. Elles peuvent également être un moyen indépendant de confirmer l'existence de perturbations et de **décharges partielles** dans l'objet en essai.

G.3 Réduction des perturbations

G.3.1 Blindage et filtrage

On peut obtenir une réduction des perturbations par une mise à la terre convenable située à proximité de l'aire d'essai de toutes les structures conductrices qui doivent aussi être exemptes de saillies aiguës, et par un filtrage des réseaux d'alimentation des circuits d'essai et de mesure. Une bonne réduction des perturbations est obtenue lorsque les essais sont effectués dans une salle blindée où toutes les liaisons électriques à la salle d'essai sont faites par l'intermédiaire de filtres qui suppriment les perturbations.

G.3.2 Circuits équilibrés en pont

Un circuit équilibré en pont comme celui représenté sur la figure 1c peut atténuer des perturbations telles que celles mentionnées ci-dessus et souvent permettre à l'observateur de discriminer les décharges dans l'objet en essai en dépit des décharges présentes dans d'autres parties du circuit d'essai.

G.3.3 Traitement et extraction électroniques des signaux

D'une façon générale et plus particulièrement dans un environnement industriel, la sensibilité de la mesure est limitée par l'existence de perturbations. Diverses méthodes électroniques, qui peuvent être utilisées séparément ou ensemble, permettent de séparer le véritable signal dû à la **décharge partielle** des perturbations. Il convient que leur mise en œuvre soit assortie de précautions et de ne supprimer ou masquer en aucun cas des DP significatives. Quelques unes de ces méthodes sont décrites ci-après.

G.3.3.1 Méthode de fenêtrage dans le temps

Le mesureur peut comprendre une porte qui peut s'ouvrir ou se fermer suivant une séquence prévue, permettant ainsi de transmettre le signal d'entrée ou de le bloquer. Si les perturbations se produisent à intervalles réguliers, la porte peut être fermée pendant ces intervalles. Lors des essais sous tension alternative, les signaux de décharges réelles se produisent souvent pendant certains intervalles de temps réguliers bien définis par rapport à la période d'application de la tension d'essai. La méthode de fenêtrage temporel peut être verrouillée en phase pour ouvrir la porte uniquement pendant ces intervalles.

G.3.3.2 Méthode de discrimination de la polarité

Les signaux de **décharges partielles** provenant de l'objet en essai peuvent être distingués des perturbations extérieures au circuit d'essai en comparant les polarités relatives des impulsions à la sortie de deux dispositifs de couplage, comme indiqué à la figure 1d. Un dispositif logique effectue cette comparaison et commande la porte du mesureur comme décrit ci-dessus, pour laisser passer les impulsions de la polarité choisie. En conséquence, seules les impulsions provenant de l'objet en essai sont enregistrées.

Toutefois, les perturbations qui sont induites de façon électromagnétique dans la boucle formée par C_a et C_k ne peuvent être distinguées des **décharges partielles** sans utiliser de moyens supplémentaires.

G.3.3.3 Moyennage des impulsions

Dans une installation industrielle, de nombreuses perturbations ont un caractère aléatoire, alors que les **décharges partielles** se reproduisent sensiblement au même instant par

rapport à la période de la tension d'essai. Il est donc possible de réduire notablement le niveau relatif des perturbations aléatoires en utilisant les techniques de moyennage du signal.

G.3.3.4 Choix de la fréquence

Les perturbations par les émissions radiophoniques sont limitées à des bandes de fréquences discrètes, mais influencent toutefois les détecteurs de **décharges partielles** à bande large si la fréquence transmise se situe dans la bande passante du mesureur. Pour réduire ce type d'interférence, on peut réduire le gain de l'amplificateur du mesureur à l'aide des filtres coupe-bande accordés sur les fréquences des émetteurs perturbateurs. On peut également utiliser des mesureurs à bande étroite accordés sur des fréquences pour lesquelles le niveau des émetteurs est négligeable.

G.4 Niveaux des perturbations

Aucune valeur précise concernant l'amplitude des perturbations ne peut être donnée, mais à titre d'indication, on peut dire que **l'amplitude de charge apparente** équivalente des perturbations que l'on peut rencontrer sur des plates-formes industrielles non blindées est de quelques centaines de picocoulombs (pC), en particulier dans le cas de circuits d'essai de grandes dimensions géométriques. Par l'emploi des techniques décrites dans cette annexe, de telles perturbations peuvent être considérablement réduites.

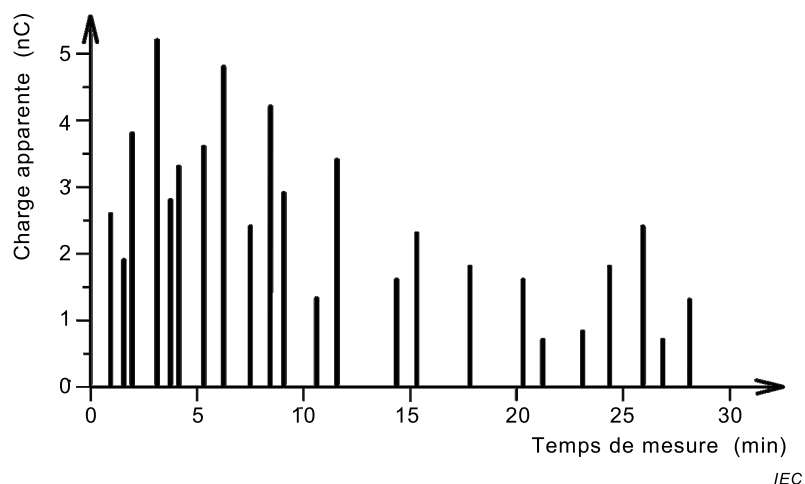
Dans les aires d'essais blindées où des méthodes de réduction des perturbations efficaces décrites dans cette annexe sont appliquées, et où toutes les précautions nécessaires sont prises pour supprimer les perturbations provenant de la source d'alimentation et des autres équipements électriques, la limite de mesure résiduelle est celle du dispositif de mesure lui-même ou celle qui résulte d'imperfections mineures du blindage, de la mise à la terre ou du filtrage; il est généralement possible d'atteindre une limite quantifiée en **charge apparente q** d'environ 1 pC.

Annexe H (informative)

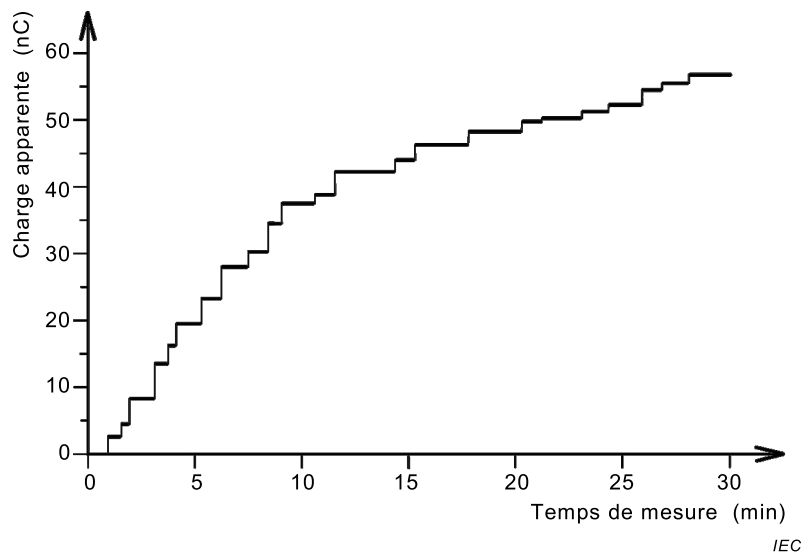
Évaluation des résultats d'essai de DP lors des essais en tension continue

Il convient de baser l'évaluation des résultats d'essai de DP sur des enregistrements de la charge apparente q de chaque impulsion de DP individuelle en fonction du temps pour un niveau constant de la tension d'essai en courant continu, comme représenté à la Figure H.1a). Il est important de définir le temps entre impulsions de DP successives lorsqu'un temps de résolution de 2 ms est recommandé.

En se fondant sur le graphique représenté à la Figure H.1a), la charge apparente accumulée des impulsions individuelles en fonction du temps de mesure est affichée à la Figure H.1b).



a) Charge apparente des impulsions individuelles de DP

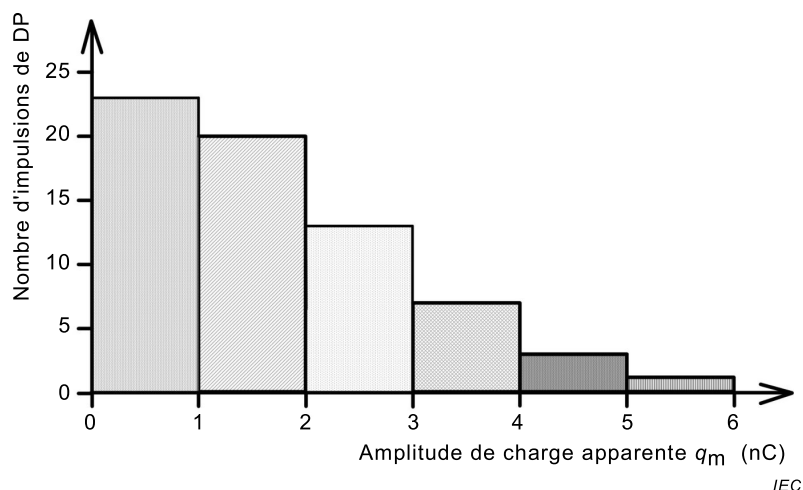


b) Charge apparente accumulée

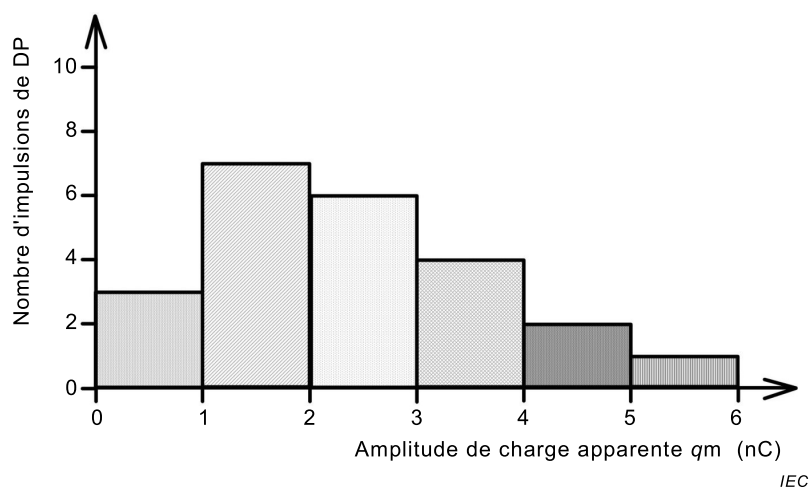
Anglais	Français
Apparent charge [nC]	Charge apparente [nC]
Measuring time [min]	Temps de mesure [min]

Figure H.1 – Modes d'affichage des impulsions apparentes
en fonction du temps de mesure

Des informations supplémentaires sur le comportement des DP peuvent être obtenues si le nombre m d'impulsions de DP en fonction de l'amplitude de charge apparente dépassant des niveaux de seuil spécifiés pendant le temps de mesure est affiché, comme représenté à la Figure H.2a). Ce graphique est basé sur le train d'impulsions de DP représenté à la Figure H.1a). De plus, la présentation du nombre m d'impulsions apparaissant à l'intérieur de limites spécifiées de l'amplitude de charge apparente semble utile pour évaluer l'activité des DP lors des essais en tension continue.



a) nombre m d'impulsions de DP dépassant les limites de l'amplitude de charge apparente q_m suivantes: 0 nC, 1 nC, 2 nC, 3 nC, 4 nC, 5 nC.



b) nombre m d'impulsions de DP apparaissant dans les intervalles de charge apparente q_{mi} suivants: (0-1) nC, (1-2) nC, (2-3) nC, (3-4) nC, (4-5) nC

Figure H.2 – Histogrammes du nombre m d'impulsions de DP en fonction des intervalles de charge apparente

Bibliographie

- [1] CIGRE WG D1.33, “Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance with IEC 60270,” Technical Brochure 366, *Electra*, vol. 60, no. 241, Dec. 2008.
-

FINAL VERSION

VERSION FINALE



High-voltage test techniques – Partial discharge measurements

Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	8
4 Test circuits and measuring systems.....	12
4.1 General requirements	12
4.2 Test circuits for alternating voltages.....	12
4.3 Measuring systems for apparent charge.....	13
4.3.1 General	13
4.3.2 Coupling device	13
4.3.3 Pulse train response of instruments for the measurement of apparent charge.....	13
4.3.4 Wide-band PD instruments	14
4.3.5 Wide-band PD instruments with active integrator.....	15
4.3.6 Narrow-band PD instruments	15
4.4 Requirements for measurements with digital PD-instruments	15
4.4.1 Requirements for measurement of apparent charge q	15
4.4.2 Requirements for measurement of test voltage magnitude and phase.....	16
4.5 Measuring systems for derived quantities.....	16
4.5.1 Coupling device	16
4.5.2 Instruments for the measurement of pulse repetition rate n	16
4.5.3 Instruments for the measurement of average discharge current I	16
4.5.4 Instruments for the measurement of discharge power P	17
4.5.5 Instruments for the measurement of quadratic rate D	17
4.5.6 Instruments for the measurement of the radio disturbance voltage.....	17
4.6 Ultra-wide-band instruments for PD detection.....	17
5 Calibration of a measuring system in the complete test circuit	17
5.1 General	17
5.2 Calibration procedure	18
6 Calibrators.....	18
6.1 General	18
6.2 Calibrators for the calibration of a measuring system in the complete test circuit	19
6.3 Calibrators for performance tests on measuring systems.....	20
7 Maintaining the characteristics of calibrators and measuring systems	20
7.1 Schedule of tests.....	20
7.2 Maintaining the characteristics of calibrators	21
7.2.1 Type tests on calibrators	21
7.2.2 Routine tests on calibrators.....	21
7.2.3 Performance tests on calibrators.....	21
7.2.4 Performance checks on calibrators	21
7.2.5 Record of performance	22
7.3 Maintaining the characteristics of measuring systems	22
7.3.1 Type tests on PD measuring systems.....	22
7.3.2 Routine tests on measuring systems	23
7.3.3 Performance tests on measuring systems	23
7.3.4 Performance checks for measuring systems	23

7.3.5	Checks for additional capabilities of digital measuring systems	24
7.3.6	Record of performance	24
8	Tests	25
8.1	General requirements	25
8.2	Conditioning of the test object	25
8.3	Choice of test procedure	25
8.3.1	Determination of the partial discharge inception and extinction voltages	25
8.3.2	Determination of the partial discharge magnitude at a specified test voltage	26
9	Measuring uncertainty and sensitivity	26
10	Disturbances	27
11	Partial discharge measurements during tests with direct voltage	27
11.1	General	27
11.2	PD quantities	28
11.3	Voltages related to partial discharges	28
11.3.1	Partial discharge inception and extinction voltages	28
11.3.2	Partial discharge test voltage	28
11.4	Test circuits and measuring systems	28
11.5	Tests	29
11.5.1	Choice of test procedures	29
11.5.2	Disturbances	29
Annex A (normative)	Performance test on a calibrator	36
Annex B (informative)	Test circuits	41
Annex C (informative)	Measurements on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and on test objects with windings	43
Annex D (informative)	The use of radio disturbance (interference) meters for the detection of partial discharges	44
Annex E (informative)	PD measuring instruments	46
Annex F (informative)	Non-electrical methods of PD detection	52
Annex G (informative)	Disturbances	53
Annex H (informative)	Evaluation of PD test results during tests with direct voltage	56
Bibliography		58
Figure 1	– Basic partial discharge test circuits	31
Figure 2	– Test circuit for measurement at a tapping of a bushing	32
Figure 3	– Test circuit for measuring self-excited test objects	32
Figure 4	– Connections for the calibration of the complete test arrangement	34
Figure 5	– Correct relationship between amplitude and frequency to minimize integration errors for a wide-band system	34
Figure 6	– Step voltage parameters of a calibrator	35
Figure A.1	– Calibration of pulse calibrators	38
Figure A.2	– Setup for performance tests of calibrators using the numerical integration	39
Figure A.3	– Setup for performance tests of calibrators using the step voltage method	40
Figure A.4	– Impact of the series resistor R_S on the step voltage response appearing across C_m using the circuit according to Figure A.3, where the oscilloscope was connected to the calibrator via a 50 Ω measuring cable of 1 m long.	40

Figure D.1 – Variation of CISPR radio disturbance meter reading $f(N)$ with repetition frequency N , for constant pulses	45
Figure E.1 – Output voltage signals U_{out} of two different PD measuring systems for apparent charge (double pulse)	48
Figure E.2 – Block diagram of an analogue PD instrument equipped with an electronic integrator	49
Figure E.3 – Block diagram of digital PD instruments	50
Figure E.4 – Example for a phase-resolved PD pattern	51
Figure H.1 – Display modes of apparent pulses against measuring time	56
Figure H.2 – Histograms of PD pulse count m against apparent charge intervals	57
 Table 1 – Pulse train response of PD instruments	 14
Table 2 – Tests required for calibrators	22
Table 3 – Tests required for measuring systems	24

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES – PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 60270 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2000-12) [documents 42/162/FDIS and 42/165/RVD] and its corrigendum 1 (2001-10), and its amendment 1 (2015-11) [documents 42/338/FDIS and 42/340/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC 60270 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage test techniques.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B, C, D, E, F and G are for information only.

Terms used throughout this standard which have been defined in clause 3: **bold roman type**.

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

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

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.

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES – PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

1 Scope

This International Standard is applicable to the measurement of **partial discharges** which occur in electrical apparatus, components or systems when tested with alternating voltages up to 400 Hz or with direct voltage.

This standard

- defines the terms used;
- defines the quantities to be measured;
- describes test and measuring circuits which may be used;
- defines analogue and digital measuring methods required for common applications;
- specifies methods for calibration and requirements of instruments used for calibration;
- gives guidance on test procedures;
- gives some assistance concerning the discrimination of **partial discharges** from external interference.

The provisions of this standard should be used in the drafting of specifications relating to **partial discharge** measurements for specific power apparatus. It deals with electrical measurements of impulsive (short-duration) **partial discharges**, but reference is also made to non-electrical methods primarily used for **partial discharge** location (see annex F).

Diagnosis of the behaviour of specific power apparatus can be aided by digital processing of **partial discharge** data (see annex E) and also by non-electrical methods that are primarily used for **partial discharge** location (see annex F).

This standard is primarily concerned with electrical measurements of **partial discharges** made during tests with alternating voltage, but specific problems which arise when tests are made with direct voltage are considered in clause 11.

The terminology, definitions, basic test circuits and procedures often also apply to tests with other frequencies, but special test procedures and measuring system characteristics, which are not considered in this standard, may be required.

Annex A provides normative requirements for performance tests on calibrators.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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*

CISPR 16-1:1993, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*

3 Terms and definitions

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

3.1

partial discharge (PD)

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

NOTE 1 **Partial discharges** are in general a consequence of local electrical stress concentrations in the insulation or on the surface of the insulation. Generally, such discharges appear as pulses having a duration of much less than 1 μs . More continuous forms can, however, occur, such as the so-called pulse-less discharges in gaseous dielectrics. This kind of discharge will normally not be detected by the measurement methods described in this standard.

NOTE 2 "Corona" is a form of **partial discharge** that occurs in gaseous media around conductors which are remote from solid or liquid insulation. "Corona" should not be used as a general term for all forms of PD.

NOTE 3 **Partial discharges** are often accompanied by emission of sound, light, heat, and chemical reactions. For further information, see annex F.

3.2

partial discharge pulse (PD pulse)

current or voltage pulse that results from a **partial discharge** occurring within the object under test. The pulse is measured using suitable detector circuits, which have been introduced into the test circuit for the purpose of the test

NOTE A **partial discharge** which occurs in the test object produces a current pulse. A detector in accordance with the provisions of this standard produces a current or a voltage signal at its output, proportional to the charge of the current pulse at its input.

3.3

quantities related to partial discharge pulses

3.3.1

apparent charge q

of a **PD pulse** is that charge which, if injected within a very short time between the terminals of the test object in a specified test circuit, would give the same reading on the measuring instrument as the **PD current pulse** itself. The **apparent charge** is usually expressed in picocoulombs (pC)

NOTE The **apparent charge** is not equal to the amount of charge locally involved at the site of the discharge, which cannot be measured directly.

3.3.2

pulse repetition rate n

ratio between the total number of **PD pulses** recorded in a selected time interval and the duration of this time interval

NOTE In practice, only pulses above a specified magnitude or within a specified range of magnitudes are considered.

3.3.3

pulse repetition frequency N

number of **partial discharge** pulses per second, in the case of equidistant pulses

NOTE **Pulse repetition frequency N** is associated with the situation in calibration.

3.3.4

phase angle ϕ_i and time t_i of occurrence of a PD pulse
is

$$\phi_i = 360 (t_i/T)$$

where t_i is the time measured between the preceding positive going transition of the test voltage through zero and the **partial discharge pulse** and T is the period of the test voltage

The phase angle is expressed in degrees (°).

3.3.5

average discharge current I

derived quantity and the sum of the absolute values of individual **apparent charge** magnitudes q_i during a chosen reference time interval T_{ref} divided by this time interval:

$$I = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_i|)$$

The **average discharge current** is generally expressed in coulombs per second (C/s) or in amperes (A).

3.3.6

discharge power P

derived quantity that is the average pulse power fed into the terminals of the test object due to **apparent charge** magnitudes q_i during a chosen reference time interval T_{ref} :

$$P = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + \dots + q_i u_i)$$

where $u_1, u_2, \dots, u_i$ are instantaneous values of the test voltage at the instants of occurrence t_i of the individual **apparent charge** magnitudes q_i . The sign of the individual values must be observed

The **discharge power** is generally expressed in watts (W).

3.3.7

quadratic rate D

derived quantity that is the sum of the squares of the individual **apparent charge** magnitudes q_i during a chosen reference time interval T_{ref} divided by this time interval:

$$D = \frac{1}{T_{\text{ref}}} (q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2)$$

The **quadratic rate** is generally expressed in (coulombs)² per second (C²/s).

3.3.8

radio disturbance meter

quasi-peak measuring receiver for frequency band B in accordance with the provisions of CISPR 16-1:1993

NOTE This type of instrument was earlier called a radio interference (or influence) meter.

3.3.9

radio disturbance voltage U_{RDV}

derived quantity that is the reading of a **radio disturbance meter** when used for indicating the **apparent charge** q of partial discharges. For further information, see 4.5.6 and annex D

The **radio disturbance voltage** U_{RDV} is generally expressed in μV .

3.4

largest repeatedly occurring PD magnitude

largest magnitude recorded by a measuring system which has the pulse train response as specified in 4.3.3

The concept of the **largest repeatedly occurring PD magnitude** is not applicable to tests with direct voltage.

3.5

specified partial discharge magnitude

largest magnitude of any quantity related to **PD pulses** permitted in a test object at a specified voltage following a specified conditioning and test procedure. For alternating voltage tests, the specified magnitude of the **apparent charge q** is the **largest repeatedly occurring PD magnitude**

NOTE The magnitude of any **PD pulse** quantity can vary stochastically in successive cycles and also show a general increase or decrease with time of voltage application. The **specified PD magnitude**, the test procedure and also the test circuit and instrumentation should therefore be appropriately defined by the relevant technical committees.

3.6

background noise

signals detected during PD tests, which do not originate in the test object

NOTE **Background noise** can be composed of either white noise in the measurement system, broadcast radio or other continuous or impulsive signals. For further information, see annex G.

3.7

applied test voltages related to partial discharge pulse quantities

as defined in IEC 60060-1. The following voltage levels are of particular interest

3.7.1

partial discharge inception voltage U_i

applied voltage at which repetitive **partial discharges** are first observed in the test object, when the voltage applied to the object is gradually increased from a lower value at which no **partial discharges** are observed

In practice, the inception voltage U_i is the lowest applied voltage at which the magnitude of a **PD pulse** quantity becomes equal to or exceeds a specified low value.

NOTE For tests with direct voltage, the determination of U_i needs special considerations. See clause 11.

3.7.2

partial discharge extinction voltage U_e

applied voltage at which repetitive **partial discharges** cease to occur in the test object, when the voltage applied to the object is gradually decreased from a higher value at which **PD pulse** quantities are observed

In practice, the extinction voltage U_e is the lowest applied voltage at which the magnitude of a chosen **PD pulse** quantity becomes equal to, or less than, a specified low value.

NOTE For tests with direct voltage, the determination of U_e needs special considerations. See clause 11.

3.7.3

partial discharge test voltage

specified voltage, applied in a specified **partial discharge** test procedure, during which the test object should not exhibit PD exceeding a **specified partial discharge magnitude**

3.8

partial discharge measuring system

system consisting of a coupling device, a transmission system and a measuring instrument

3.9

measuring system characteristics

The following definitions refer to measuring systems as specified in 4.3

3.9.1

transfer impedance $Z(f)$

ratio of the output voltage amplitude to a constant input current amplitude, as a function of frequency f , when the input is sinusoidal

3.9.2

lower and upper limit frequencies f_1 and f_2

frequencies at which the **transfer impedance $Z(f)$** has fallen by 6 dB from the peak pass-band value

3.9.3

midband frequency f_m and bandwidth Δf

for all kinds of measuring systems, the **midband frequency** is defined by:

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

and the **bandwidth** is defined by:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

3.9.4

superposition error

caused by the overlapping of transient output pulse responses when the time interval between input current pulses is less than the duration of a single output response pulse. **Superposition errors** can be additive or subtractive depending on the **pulse repetition rate** of the input pulses. In practical circuits, both types will occur due to the random nature of the **pulse repetition rate**. However, since measurements are based on the **largest repeatedly occurring PD magnitude**, usually only the additive **superposition errors** will be measured

NOTE **Superposition errors** can attain levels of 100 % or more depending on the **pulse repetition rate** and the characteristics of the measuring system.

3.9.5

pulse resolution time T_r

shortest time interval between two consecutive input pulses of very short duration, of same shape, polarity and charge magnitude for which the peak value of the resulting response will change by not more than 10 % of that for a single pulse

The **pulse resolution time** is in general inversely proportional to the **bandwidth Δf** of the measuring system. It is an indication of the measuring system's ability to resolve successive PD events.

NOTE It is recommended that the **pulse resolution time** be measured for the whole test circuit, as well as for the measuring system, as **superposition errors** can be caused by the test object, for example reflections from cable ends. The relevant technical committees should specify the procedure for handling **superposition errors** and particularly, the allowable tolerances including their signs.

3.9.6

integration error

error in **apparent charge** measurement which occurs when the upper frequency limit of the PD current pulse amplitude-spectrum is lower than

- the upper cut-off frequency of a wideband measuring system; or
- the mid-band frequency of a narrow-band measuring system.

See figure 5.

NOTE If required for a special type of apparatus, the relevant technical committees are urged to specify more restrictive values for f_1 and f_2 to minimize the **integration error**.

3.10

digital partial discharge instruments

instruments which perform a digital acquisition and evaluation of the PD data

Note 1 to entry: The A/D conversion of the PD pulses captured from the terminals of the test object can be done either directly or after the apparent charge pulses have been established employing either an analogue band-pass filter amplifier or an active integrator (see Annex E).

3.11

scale factor k

factor by which the value of the instrument reading is to be multiplied to obtain the value of the input quantity (IEC 60060-2:1994, 3.5.1)

3.12

accumulated apparent charge q_a

sum of the apparent charge q of all individual pulses exceeding a specified threshold level, and occurring during a specified time interval Δt

3.13

PD pulse count m

total number of PD pulses which exceed a specified threshold level within a specified time interval Δt

3.14

PD pattern

display of the apparent charge q versus the phase angle φ_i of the PD pulses recorded during a specified time interval Δt

4 Test circuits and measuring systems

4.1 General requirements

In this clause, basic test circuits and measuring systems for **partial discharge** quantities are described, and information on the operating principle of these circuits and systems is provided. The test circuit and measuring system shall be calibrated as specified in clause 5 and shall meet the requirements specified in clause 7. The technical committee may also recommend a particular test circuit to be used for particular test objects. It is recommended that the technical committees use **apparent charge** as the quantity to be measured wherever possible, but other quantities may be used in particular specific situations.

If not otherwise specified by the relevant technical committee, any of the test circuits mentioned in 4.2 and any of the measuring systems as specified in 4.3 are acceptable. In each case, the most significant characteristics of the measuring system (f_1 , f_2 , T_r , see 3.9.2 and 3.9.5) as applied, shall be recorded.

For tests with direct voltage, see clause 11.

4.2 Test circuits for alternating voltages

Most circuits in use for **partial discharge** measurements can be derived from one or other of the basic circuits, which are shown in figures 1a to 1d. Some variations of these circuits are shown in figures 2 and 3. Each of these circuits consists mainly of

- a test object, which can usually be regarded as a capacitor C_a (see, however, annex C);
- a coupling capacitor C_k , which shall be of low inductance design, or a second test object C_{a1} , which shall be similar to the test object C_a . C_k or C_{a1} should exhibit a sufficiently low

level of **partial discharges** at the specified test voltage to allow the measurement of the **specified partial discharge magnitude**. A higher level of **partial discharges** can be tolerated if the measuring system is capable of distinguishing the discharges from the test object and the coupling capacitor and measuring them separately;

- a measuring system with its input impedance (and sometimes, for balanced circuit arrangements, a second input impedance);
- a high-voltage supply, with sufficiently low level of **background noise** (see also clauses 9 and 10) to allow the **specified partial discharge magnitude** to be measured at the specified test voltage;
- high-voltage connections, with sufficiently low level of **background noise** (see also clauses 9 and 10) to allow the **specified partial discharge magnitude** to be measured at the specified test voltage;
- an impedance or a filter can be introduced at high voltage to reduce **background noise** from the power supply.

NOTE For each of the basic PD test circuits shown in figures 1 and 3, the coupling device of the measuring system can also be placed at the high-voltage terminal side, so that the positions of the coupling device with C_a or C_k are exchanged; then, optical links are used for the interconnection of the coupling device with the instrument, as indicated in figure 1a.

Additional information and particular characteristics of the different test circuits are considered in annexes B and G.

4.3 Measuring systems for apparent charge

4.3.1 General

Partial discharge measuring systems can be divided into the 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 and will thus not be taken into consideration.

4.3.2 Coupling device

The coupling device is an integral part of the measuring system and test circuit, with components specifically designed to achieve the optimum sensitivity with a specific test circuit. Different coupling devices may thus be used in conjunction with a single measuring instrument.

The coupling device is usually an active or passive four-terminal network (quadripole) and converts the input currents to output voltage signals. These signals are transmitted to the measuring instrument by a transmission system. The frequency response of the coupling device, defined by output voltage to input current, is normally chosen at least so as to effectively prevent the test voltage frequency and its harmonics from reaching the instrument.

NOTE 1 Though the frequency response of an individual coupling device is not of general interest, the magnitude and frequency characteristics of the input impedance are of importance as this impedance interacts with C_k and C_a and is thus an essential part of the test circuit.

NOTE 2 Interconnection leads between the coupling device and the test object should be kept as short as practical so as to minimize effects on the detection bandwidth.

4.3.3 Pulse train response of instruments for the measurement of apparent charge

Provided the amplitude frequency spectrum of the input pulses is constant at least within the **bandwidth** Δf of the measuring system (see figure 5), the response of the instrument is a voltage pulse with a peak value proportional to the (unipolar) charge of the input pulse. The shape, duration and the peak value of this output pulse are determined by the **transfer impedance** $Z(f)$ of the measuring system. Thus, the shape and duration of the output pulse can be completely different from that of the input signal.

Display of the individual output voltage pulses on the screen of an oscilloscope can assist in recognizing the origin of **partial discharges** and in distinguishing them from disturbances (see clause 10). The voltage pulses should be displayed either on a linear time-base which is triggered by the test voltage, or on a sinusoidal time base synchronized with the test voltage frequency or an elliptical time-base which rotates synchronously with the test voltage frequency.

In addition, it is particularly recommended that an indicating instrument or recorder should be used to quantify the **largest repeatedly occurring PD magnitude**. The reading of such instruments, when used in testing with alternating voltage, should be based on an analogue peak detection circuit, or digital peak detection by software, with a very short electrical charge time constant and an electrical discharge time constant not larger than 0,44 s. Independent of the type of display used in such instruments, the following requirements apply:

The response of the system to a pulse train consisting of equally large equidistant pulses q_0 with a known **pulse repetition frequency N** , shall be such that the reading R of the instrument indicates magnitudes as given in the following table. The range and gain of the instrument is assumed to be adjusted to read full scale or 100 % for $N = 100$. The calibrator used to produce the pulses shall conform to the requirements of clause 5.

Table 1 – Pulse train response of PD instruments

N (1/s):	1	2	5	10	50	≥ 100
$R_{\min}$ (%):	35	55	76	85	94	95
$R_{\max}$ (%):	45	65	86	95	104	105

NOTE 1 This characteristic is necessary to establish compatibility of readings obtained with different types of instruments. The requirement is to be fulfilled on all ranges. Instruments already in use at the date of issue of this standard are not required to comply with these requirements; however, the actual values for $R(N)$ should be given.

NOTE 2 The measured quantity can be indicated, for example, on pointer instruments, digital displays or oscilloscopes.

NOTE 3 The specified response may be obtained either by analogue or by digital signal processing.

NOTE 4 The pulse train response defined in this subclause is not appropriate for direct voltage tests.

NOTE 5 The relevant technical committee may specify a different response tailored to a particular apparatus.

4.3.4 Wide-band PD instruments

In combination with the coupling device, this type of instrument constitutes a wide-band PD measuring system which is characterized by a **transfer impedance $Z(f)$** having fixed values of the **lower and upper limit frequencies f_1 and f_2** , and adequate attenuation below f_1 and above f_2 . Recommended values for the significant frequency parameters f_1 , f_2 and Δf are:

$$30 \text{ kHz} \leq f_1 \leq 100 \text{ kHz};$$

$$f_2 \leq 1 \text{ MHz};$$

$$100 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 900 \text{ kHz}.$$

NOTE 1 Combinations of different coupling devices with the measuring instrument can alter the **transfer impedance**. The overall response should, however, always fulfil the recommended values.

NOTE 2 For test objects with windings like transformers and electrical machines the acquired frequency band may be reduced down to a few 100 kHz and even below. The upper limit frequency f_2 to be accepted for such kinds of test objects should be specified by the relevant Technical Committee.

The response of these instruments to a (non-oscillating) **partial discharge** current pulse is in general a well-damped oscillation. Both the **apparent charge q** and polarity of the PD current pulse can be determined from this response. The **pulse resolution time T_r** is small and is typically 5 μs to 20 μs .

4.3.5 Wide-band PD instruments with active integrator

This type of instrument consists of a very wide-band amplifier followed by an electronic integrator which is characterized by the time constant of its integrating capacitor and resistor network. The response of the integrator to a **PD pulse** is a voltage signal increasing with the instantaneous sum of charge. The final amplitude of the signal is thus proportional to the total charge, assuming that the time constant of the integrator is much larger than the duration of the **PD pulse**. In practice, time constants in the range of 1 μs are typical. The **pulse resolution time** for consecutive **PD pulses** is less than 10 μs .

NOTE A corresponding **upper limit frequency** of some hundred kilohertz can be attributed to such instruments, calculated from the time constant of the combination of the amplifier and active integrator.

4.3.6 Narrow-band PD instruments

These instruments are characterized by a small **bandwidth** Δf and a **midband frequency** f_m , which can be varied over a wide frequency range, where the amplitude frequency spectrum of the PD current pulse is approximately constant. Recommended values for Δf and f_m are

$$9 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 30 \text{ kHz}$$

$$50 \text{ kHz} \leq f_m \leq 1 \text{ MHz}.$$

It is further recommended that the **transfer impedance** $Z(f)$ at frequencies of $f_m \pm \Delta f$ should be 20 dB below the peak pass-band value.

NOTE 1 During actual **apparent charge** measurements, midband frequencies $f_m > 1 \text{ MHz}$ should only be applied if the readings for such higher values do not differ from those as monitored for the recommended values of f_m .

NOTE 2 In general, such instruments are used together with coupling devices providing high-pass characteristics within the frequency range of the instrument. If resonance coupling devices are used, f_m has to be tuned and fixed to the resonance frequency of the coupling device and the test circuit to provide a constant **scale factor** of the circuit.

NOTE 3 **Radio disturbance meters** with quasi-peak response are not qualified under this standard for the measurement of the **apparent charge** q , but they can be used for detection of PD.

The response of these instruments to a **partial discharge** current pulse is a transient oscillation with the positive and negative peak values of its envelope proportional to the **apparent charge**, independent of the polarity of this charge. The **pulse resolution time** T_r will be large, typically above 80 μs .

4.4 Requirements for measurements with digital PD-instruments

The minimum requirement for a **digital PD-instrument** is to:

- display the value of the **largest repeatedly occurring PD magnitude**. The instrument shall conform to the requirements of 4.3.3.

Additionally, one or more of the following quantities may be evaluated and recorded:

- the **apparent charge** q_i occurring at time instant t_i ;
- the instantaneous value of the test voltage u_i as measured at the time instant t_i of occurrence of the individual **apparent charge** q_i ;
- the **phase angle** ϕ_i of occurrence of the **PD pulse** occurring at time t_i .

4.4.1 Requirements for measurement of apparent charge q

The time between successive updates of the digital display shall not exceed 1 s.

The instrument response will normally include some level of continuous or base line noise. This noise can be caused by **background noise** or by a large number of **partial discharge pulses**

whose magnitude is small compared with the highest level to be measured. Thus, a bipolar sensitivity threshold may be introduced to prevent such signals from being recorded. If a threshold level is used, this level shall be recorded.

Guidelines regarding the digital acquisition of the analogue response signals are provided in annex E.

4.4.2 Requirements for measurement of test voltage magnitude and phase

If the digital instrument is stated to be able to record the voltage level of the power frequency test voltage, it shall comply with the requirements of IEC 60060-2, 1994.

If the instrument is stated to be able to measure the phase angle of the test voltage, it shall be suitably demonstrated that the phase displacement of the reading is within 5 degrees of the true value.

4.5 Measuring systems for derived quantities

4.5.1 Coupling device

The provisions of 4.3.2 are also valid for measuring systems for derived quantities.

4.5.2 Instruments for the measurement of pulse repetition rate n

An instrument for the determination of the **pulse repetition rate** shall have a sufficiently short **pulse resolution time** T_r to resolve the highest **pulse repetition rate** of interest. Magnitude discriminators which suppress pulses below an adjustable, predetermined magnitude, may be required to avoid counting of non-significant signals. Several discriminator levels can be suitable to characterize PD, for example, in tests with direct voltage.

It is recommended that the counter input is connected to the output of a PD measuring system as described in 4.3. If a pulse counter is used with a PD measuring system with oscillatory or bi-directional response, suitable pulse shaping must be done to avoid obtaining more than one count per pulse.

4.5.3 Instruments for the measurement of average discharge current I

In principle, instruments which measure the average value of the discharge current pulses after linear amplification and rectification will indicate, when suitably calibrated, the **average discharge current** I . Errors can be introduced into this measurement due to

- amplifier saturation at low **pulse repetition rate** n ;
- pulses occurring with separation times less than the **pulse resolution time** T_r of the system;
- low-level partial discharges being below the detection threshold of the digital acquisition equipment.

Such sources of error should be taken into account when evaluating such measurements.

The **average discharge current** may also be calculated by digital processing.

NOTE Saturation can occur when the **repetition rate** n is so low that **average discharge current** I is difficult to detect. In such cases, the temptation can be to increase substantially the gain of the PD instrument amplifier (thereby increasing the **scale factor**) until this current is detectable. This can result in the situation where the amplifier's dynamic range is such that it is unable to respond linearly to the infrequent PD pulses. To prevent this situation, the PD instrument can be equipped with alarm circuits to detect non-linear operation, or the output of the PD instrument can be visually monitored (for example, on an oscilloscope) during the measurement of **average discharge current**.

4.5.4 Instruments for the measurement of discharge power P

Different types of test circuits and analogue instruments may be used for the measurement of **discharge power**. They are usually based on the evaluation of $\sum q_i u_i$, a quantity which can be measured by the area of an oscilloscope display if the x-y-axes are used to quantify $\int q_i$ and $u(t)$ respectively, or by more sophisticated techniques. The calibration of such test circuits and instruments relies on the determination of the **scale factors** for applied voltage and **apparent charge**.

The **discharge power** may also be calculated by digital processing.

4.5.5 Instruments for the measurement of quadratic rate D

Instruments which measure the mean of the squares of the individual **apparent charge** magnitudes q_i will indicate the **quadratic rate D** . The design of such instruments should be based on characteristics as applicable for **apparent charge** measurements.

The **quadratic rate** may also be calculated by digital processing.

4.5.6 Instruments for the measurement of the radio disturbance voltage

Radio disturbance meters are frequency selective voltmeters. The instruments are primarily intended for measuring interference or disturbances to broadcast radio signals. Though **radio disturbance meters** do not indicate directly any of the quantities defined in this standard, they can give a reasonable indication of **apparent charge magnitude q** , when used with a coupling device having an adequate high-pass characteristic and when calibrated according to clause 5.

Due to the quasi-peak measuring circuit within this instrument, the reading is, however, sensitive to the **pulse repetition rate n** of the discharge pulses. For further information, see annex D.

4.6 Ultra-wide-band instruments for PD detection

Partial discharges can also be detected by oscilloscopes providing very high **bandwidth** or by frequency selective instruments (for example, spectrum analyzers) together with appropriate coupling devices. The aim of application is to measure and to quantify the shape or the frequency spectrum of **partial discharge** current or voltage pulses in equipment with distributed parameters, for example cables, rotating machines or gas insulated switchgear, or to provide information about the physics or origin of the discharge phenomena.

No recommendations are given in this standard for either measuring methods or bandwidth/frequencies of instruments to be used in such investigations, as these methods or instruments, in general, do not directly quantify the **apparent charge** of PD current pulses.

5 Calibration of a measuring system in the complete test circuit

5.1 General

The object of calibration is to verify that the measuring system will be able to measure the **specified PD magnitude** correctly.

The calibration of a measuring system in the complete test circuit is made to determine the **scale factor k** for the measurement of the **apparent charge**. As the capacitance C_a of the test object affects the circuit characteristics, calibration shall be made with each new test object, unless tests are made on a series of similar objects with capacitance values within $\pm 10\%$ of the mean values.

The calibration of a measuring system in the complete test circuit, is carried out by injecting short-duration current pulses of known charge magnitude q_0 , into the terminals of the test object (see figure 4). The value of q_0 shall be taken as the result of the performance test on the calibrator (see 7.2.3).

5.2 Calibration procedure

Calibration of measuring systems intended for the measurement of **apparent charge q** , should be made by injecting current pulses by means of a calibrator, as defined in clause 6.2, across the terminals of the test object, as shown in figure 4. The calibration should be performed at one magnitude in the relevant range of the magnitudes expected, to assure good accuracy for the **specified PD magnitude**.

The relevant range of magnitude should, in lieu of other specifications, be understood to be from 50 % to 200 % of the **specified PD magnitude**.

As the capacitor C_0 of a calibrator is often a low-voltage capacitor, the calibration of the complete test arrangement is performed with the test object de-energized. For the calibration to remain valid, the calibration capacitor C_0 should not be larger than 0,1 C_a . If the requirements for the calibrator are met, the calibration pulse is then equivalent to a single-event discharge magnitude $q_0 = U_0 C_0$.

Consequently, C_0 must be removed before energizing the test circuit. If, however, C_0 is of high-voltage type, and has a sufficiently low level of **background noise** (see also clauses 9 and 10) to allow the specified PD level to be measured at the specified test voltage, it can remain connected in the test circuit.

NOTE 1 The requirement that the capacitor C_0 should be less than 0,1 C_a is not required if C_0 is of high-voltage type and if it is left in the test circuit.

In case of tall objects of several metres in height, the injection capacitor C_0 should be located close to the high-voltage terminal of the test object as the stray capacitance C_s (indicated in figures 4a and 4b) could cause unacceptable errors.

The connection cable between the step voltage generator and capacitor C_0 should be shielded and be equipped with appropriate termination to avoid distortion of the voltage step.

NOTE 2 For tall test objects, the connection leads between calibrator and terminals of the test object might exceed several meters. Thus the transfer of the charge from the calibrator to the test object may be reduced due to inevitable stray capacitances. The measurement uncertainty acceptable under this condition should be specified by the relevant Technical Committee.

6 Calibrators

6.1 General

The current pulses are generally derived from a calibrator that comprises a generator producing step voltage pulses of amplitude U_0 in series with a capacitor C_0 , so that the calibration pulses are repetitive charges each of magnitude

$$q_0 = U_0 C_0$$

In practice, it is not possible to produce ideal step voltage pulses. Though other wave-forms having slower rise times t_r (10 % to 90 % of peak value) and finite decay times t_d (90 % to 10 % of peak value) can inject essentially the same amount of charge, the responses of different measuring systems or test circuits can differ due to the **integration error** caused by the increased duration of such calibration current pulses.

The parameters characterizing unipolar step voltage of magnitude U_0 shall satisfy the following conditions (see Figure 6):

Rise time:	$t_r \leq 60 \text{ ns}$
Time to steady state:	$t_s \leq 200 \text{ ns}$
Step voltage duration:	$t_d \geq 5 \text{ } \mu\text{s}$
Deviation of the step voltage magnitude U_0 between t_s and t_d :	$\Delta U \leq 0.03 U_0$

The time parameters t_r , t_s and t_d are measured from the origin t_0 of the step voltage which refers to the time instant when the rising voltage equals 10 % of U_0 (see Figure 6).

The time to steady state t_s is the shortest instant at which the deviation ΔU from U_0 remains first time less than 3 %.

The step voltage duration t_d is the instant after t_s at which the magnitude of the step voltage decays below 97% of U_0 . After t_d , the voltage shall decrease continuously down to 10 % of U_0 within a time interval not shorter than 500 μs .

The magnitude U_0 of the step voltage is the mean value occurring within the steady state duration $t_d - t_s$.

For test objects represented by a lumped capacitance C_a the calibrating capacitor C_0 shall satisfy the conditions $C_0 \leq 200 \text{ pF}$ and $C_0 \leq 0,01 C_a$.

For test objects represented by a characteristic impedance Z_c , such as power cables exceeding a length of 200 m, the value of the calibrating capacitor shall satisfy the conditions $C_0 \leq 1 \text{ nF}$ and $C_0 \times Z_c \leq 30 \text{ ns}$.

For calibrators manufactured before this amendment was published, whose time and voltage parameters do not comply with the above specified values, the deviation of the measured values from the specified values shall be stated in the test protocol.

NOTE 1 For wide-band instruments with an upper limit frequency higher than 500 kHz, the requirement $t_r < 0,03/f_2$ must be fulfilled to produce a nearly constant amplitude frequency spectrum as shown in figure 5.

Calibration pulses can be generated either as a series of voltage pulses (unipolar or bipolar) being characterized by a fast rise time (as defined above) and with a slow decay time, or as a rectangular pulse train which is effectively differentiated by the calibration capacitor C_0 . For the first case, the decay time t_d of the voltage pulses shall be large compared with $1/f_1$ of the measuring system. For the second case, the voltage U_0 should not change by more than 5 % for the time interval between pulses. For both cases, the time interval between pulses should be longer than the **pulse resolution time**. For bipolar systems, the magnitude of both polarity pulses should have the same magnitude to within 5 %.

For the injection of current pulses into test objects with distributed electrical elements, such as gas insulated switchgear, C_0 may consist of a known capacitance between the high-voltage conductor and the sensor electrode connected to the calibration voltage source (see figure 4c).

NOTE 2 Calibrators qualified under this clause can be applied to the calibration of systems for measuring the **apparent charge** as well as to systems for measuring derived quantities.

6.2 Calibrators for the calibration of a measuring system in the complete test circuit

Calibrators can provide either unipolar or bipolar current pulses. The **pulse repetition frequency N** may be either fixed (for example, twice the frequency of the test voltage), or variable (provided that the interval between pulses exceeds the **pulse resolution time**). Such calibrators are applicable for the calibration of a measuring system in the complete test circuit to determine the **scale factor** of the **PD measuring system**.

NOTE 1 The **scale factor** is generally determined at one magnitude in the range of 50 % to 200 % of the **specified PD magnitude**.

NOTE 2 The calibration of a measuring system can be checked indirectly by injecting calibration pulses into the high-voltage test circuit (often at the input of the coupling device), but not at the terminals of the test object. This method does not constitute a calibration alone, but if used in conjunction with a calibration of the measuring system in the complete test circuit (see clause 5), this technique can be used as a transfer reference to simplify calibration procedures. The calibrator used should comply with the provisions of this standard.

6.3 Calibrators for performance tests on measuring systems

For checking additional features of the test circuit and measuring system characteristics, a more sophisticated calibrator device or even calibration procedure is recommended. The following characteristics are recommended for a calibrator used for performance tests:

- variable charge magnitude q_0 , in steps or continuously, for determination of the linearity of the **scale factor k** . The variation should be achieved by varying the step voltage. The linearity of the calibrator should be better than $\pm 5\%$ or $\pm 1\text{ pC}$, whichever is the greater;
- variable time delay between two consecutive pulses of the same polarity to check the **pulse resolution time T_r** of the measuring system alone or the **pulse resolution time** of the whole test circuit;
- both output terminals of the calibrator floating, i.e. potential-free output;
- for battery-operated calibrators a battery status indicator should be provided;
- bipolar pulses to detect a change in **apparent charge** magnitude measurement with respect to PD current pulse polarity;
- a series of calibration pulses with known number of equal charge magnitudes and **repetition frequency N** to check **digital partial discharge instruments**.

7 Maintaining the characteristics of calibrators and measuring systems

Performance tests and performance checks are carried out to assess and maintain the characteristics of measuring systems.

Performance tests and performance checks are also carried out to assess and maintain the characteristics of calibrators.

In general, manufacturers of calibrators intended to calibrate **partial discharge** quantities will provide specifications and guidelines to perform periodic maintenance for the verification of the calibrator.

Independent of such manufacturer's specifications, the following procedures shall be followed. The results of the tests and checks shall be recorded in the record of performance.

7.1 Schedule of tests

Verifications of measuring systems and of calibrators are performed once as acceptance tests. Performance tests are performed periodically, or after any major repair, and at least every five years. Performance checks are performed periodically and at least once a year.

Acceptance tests can comprise both type tests and routine tests. This schedule is in accordance with the general provisions of IEC 60060-2.

7.2 Maintaining the characteristics of calibrators

7.2.1 Type tests on calibrators

Type tests on calibrators shall be performed for one calibrator of a series. These type tests are to be carried out by the manufacturer of the calibrator. If type test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

The type test shall include all the tests required in a performance test.

7.2.2 Routine tests on calibrators

Routine tests on calibrators shall be performed for each calibrator of a series. These routine tests are to be carried out by the manufacturer of the calibrator. If routine test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

The routine test shall include all the tests required in a performance test.

7.2.3 Performance tests on calibrators

The accuracy of PD measurements depends on the accuracy of the calibrators. It is, therefore, recommended that the first performance test on a calibrator for which approval is sought should be traceable to national standards.

The following performance tests shall be made:

- determination of the actual calibrator charge q_0 on all nominal settings of the calibrator. The uncertainty of this determination should be assessed to be within $\pm 5\%$ or 1 pC, whichever is greater. It is the actual value of the calibrator charge that shall be employed when utilizing the calibrator;
- determination of the rise time t_r of the voltage step U_0 , with an uncertainty of $\pm 10\%$;
- determination of the **pulse repetition frequency N** with an uncertainty of $\pm 1\%$ by means of a pulse counter; this requirement applies only to calibrators intended for calibration of reading of **pulse repetition rate n** .

Annex A describes an adequate procedure to perform such tests related to q_0 and t_r . Other procedures may be applied if their applicability is confirmed by tests.

The results of all tests shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

7.2.4 Performance checks on calibrators

The following performance checks shall be made:

- determination of the actual calibrator charge q_0 on all nominal settings of the calibrator. The uncertainty of this determination should be assessed to be within $\pm 5\%$ or 1 pC, whichever is greater;

The results of all checks shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

Table 2 – Tests required for calibrators

Type of test	Reference to test method	Test classification			
		Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Measurement of q_0	7.2.3	X	X	X	X
Measurement of t_r	7.2.3	X	X	X	
Measurement of N	7.2.3	X	X	X	

7.2.5 Record of performance

The record of performance of a calibrator shall include the following information:

- a) Nominal characteristics
 - 1) Identification (serial number, type, etc.)
 - 2) Range of operation conditions
 - 3) Range of reference conditions
 - 4) Warm-up time
 - 5) Range of charge output
 - 6) Supply voltage
- b) Result of type test
- c) Result of routine test
- d) Results of performance tests
 - 1) Date and time of each performance test
- e) Results of performance checks
 - 1) Date and time of each performance check
 - 2) Result – pass/fail (if fail, record of action taken)

7.3 Maintaining the characteristics of measuring systems

In general, manufacturers of measuring systems intended to measure quantities as specified in 3.3 will provide specifications and guidelines to perform periodic maintenance for the verification of the measuring instrument or system characteristics.

Independent from such manufacturers' specifications, the following procedures shall be followed. The results of the tests and checks shall be recorded in the record of performance.

7.3.1 Type tests on PD measuring systems

Type tests on PD measuring systems shall be performed for one measuring system of a series. These type tests are to be done by the manufacturer of the measuring system. If type test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

Type tests on PD measuring systems shall at least include:

- determination of the **transfer impedance $Z(f)$** and **lower and upper limit frequencies f_1 and f_2** of the measuring system over a range of frequencies in which it has dropped to 20 dB from the peak pass-band value. The input quantity should be sinusoidal current signals with variable frequency;
- determination of the **scale factor k** of the measuring system to calibration pulses of at least three different charge magnitudes, ranging from 100 % to 10 % of full range, at low **pulse**

repetition rate n (about 100/s) on each magnitude range. The variation of k shall be less than ± 5 % in order to prove the linearity of the measuring system;

- determination of the **pulse resolution time T_r** of the measuring system by applying calibration pulses of constant charge magnitude but decreasing time interval between consecutive pulses. The **pulse resolution time** shall be determined for all coupling devices intended to be used with the instrument and at the minimum and maximum capacitance for which each coupling device is intended;
- verification that the variation of the reading of the **apparent charge q** with **pulse repetition frequency N** of the calibration pulses is in accordance with the values as provided in 4.3.3 for tests with alternating voltage.

7.3.2 Routine tests on measuring systems

Routine tests on measuring systems shall be performed for each measuring system of a series. These routine tests are to be done by the manufacturer of the measuring systems. If test results are not available from the manufacturer, tests to verify the equipment shall be arranged by the user.

The routine test shall include all the tests required in a performance test.

7.3.3 Performance tests on measuring systems

Performance tests on measuring systems shall include:

- determination of the **transfer impedance $Z(f)$** and **lower and upper frequency limits f_1 and f_2** of the measuring system over a range of frequencies in which it has dropped to 20 dB from the peak pass-band value. The input quantity should be sinusoidal current signals with variable frequency;
- the linearity of the measuring system shall be determined by applying the signal from a variable PD calibrator to the input of the measuring system. The linearity of the **scale factor k** should be verified from 50 % of the lowest, to 200 % of the highest **specified PD magnitude** to be measured. The variation of k shall be less than ± 5 % in order to prove the linearity of the measuring system.

The results of all tests shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

7.3.4 Performance checks for measuring systems

- Determination of the **transfer impedance $Z(f)$** of the measuring system at one frequency in the pass-band is required. It should be verified that the value has not changed by more than 10 % from the value recorded in the preceding performance test. The input quantity should be a sinusoidal current signal with variable frequency.

The results of all checks shall be kept in a record of performance established and maintained by the user.

Table 3 – Tests required for measuring systems

Type of test	Reference to test method	Test classification			
		Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Determination of $Z(f)$	7.3.1	X	X	X	
Determination of $Z(f)$ at single frequency	7.3.4				X
Determination of k	7.3.1	X			
Determination of T_r	7.3.1	X			
Pulse train response	4.3.3	X			
Linearity	7.3.1	X			
Linearity	7.3.2		X	X	

7.3.5 Checks for additional capabilities of digital measuring systems

The provisions valid for analogue measuring systems shall be applicable to digital measuring systems, but as the digital systems provide additional capabilities to record many quantities related to **partial discharges**, their abilities should be quantitatively demonstrated by additional tests.

As a complete calibration procedure for digital PD instruments would depend on the specific abilities of the instruments which can be quite different, the following minimum additional calibration procedures are specified:

- To demonstrate the extent to which digital acquisition can correctly record input pulses irrespective of their frequency, the calibrator shall have the ability to produce, during a defined time interval, a known number of pulses (for example 10^4) with adjustable **pulse repetition frequencies**. The **pulse repetition frequency** of the calibrator shall be increased in adequate steps from low values (for example, 100 Hz) up to higher values that should not exceed the limits imposed by the **pulse resolution time** of the measuring system used. For every value of the **pulse repetition frequency**, the recorded number of pulses as observed during the defined time interval shall be within ± 2 % of the known number of calibration pulses applied.
- To demonstrate the extent to which the digital acquisition is successful in capturing every PD event, the calibrator shall be used with a constant but well-known **pulse repetition frequency** (for example 100 Hz) and the number of recorded events shall be compared with the number of calibration pulses generated by the calibrator during the maximum time of registration for which the digital instrument is designed. A deviation of ± 2 % is permitted when comparing the two numbers.

See also annex E for further information.

7.3.6 Record of performance

The record of performance of a measuring system shall include the following information:

- a) Nominal characteristics
 - 1) Identification (serial number, type, etc.)
 - 2) Range of operation conditions
 - 3) Range of reference conditions
 - 4) Warm-up time
 - 5) Range of measured charge quantity
 - 6) Supply voltage

- b) Result of type test
- c) Result of routine test
- d) Results of performance tests
 - 1) Date and time of each performance test
- e) Results of performance checks
 - 1) Date and time of each performance check
 - 2) Result – pass/fail (if fail, record of action taken)

8 Tests

This clause lists test object and test voltage requirements. Additional requirements, for special test conditions and methods of test, may be specified by the relevant technical committee. The committee should also specify the minimum measurable magnitude required. Information on practical limits of minimum measurable magnitude is given in annex G. For the case of tests with direct voltages, see clause 11. The technical committee may also recommend a partial discharge quantity other than the **apparent charge** to be measured.

NOTE Some guidance for the measurement of **partial discharges** on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and in test objects with windings will be found in annex C.

8.1 General requirements

In order to obtain reproducible results in **partial discharge** tests, careful control of all relevant factors is necessary. The **partial discharge measuring system** shall be calibrated in accordance with the provisions of clause 5 prior to testing.

8.2 Conditioning of the test object

Before being tested, a test object should undergo a conditioning procedure specified by the relevant technical committee.

Unless otherwise specified:

- a) the surface of the external insulation of test objects shall be clean and dry because moisture or contamination on insulating surfaces can cause **partial discharges**; and
- b) the test object should be at ambient temperature during the test.

Mechanical, thermal and electrical stressing just before the test can affect the result of **partial discharge** tests. To ensure good reproducibility, a rest interval after previous stressing may be necessary before making **partial discharge** tests.

8.3 Choice of test procedure

The specification of procedures to be used for particular types of test and test objects is the responsibility of the relevant technical committee. They shall define any preliminary conditioning process, the test voltage levels and frequency, the rate of rise and fall of applied voltage, the sequence and duration of voltage application, and the relationship of **partial discharge** measurement tests to other dielectric tests.

To assist in preparing such test specifications, examples of test procedures for alternating voltages are given in 8.3.1 and 8.3.2.

8.3.1 Determination of the partial discharge inception and extinction voltages

A voltage well below the expected **inception voltage** shall be applied to the test object and gradually increased until discharges attain, or exceed, a specified low magnitude. The test voltage at this specified magnitude is the **partial discharge inception voltage** U_i . The voltage

is then increased to a specified voltage level and thereafter gradually reduced to a value at which the discharges become less than the same specified magnitude. The test voltage at this discharge limit is the **partial discharge extinction voltage** U_e . Note that the value of U_i can be affected by the rate of rise of voltage, and U_e can be affected by the amplitude and time of voltage application and also by the rate of decrease of voltage.

NOTE 1 In some types of insulation, **partial discharges** occur only intermittently when the voltage is first raised to U_i , in others the discharge magnitude rises rapidly, whereas in others discharges extinguish when U_i is maintained for some time. Thus, the appropriate test procedure should be specified by the relevant technical committee.

Under no circumstances, however, shall the voltage applied exceed the rated short-duration power frequency withstand voltage applicable to the apparatus under test.

NOTE 2 In the case of high-voltage apparatus, there is some danger of damage from repeated voltage applications approaching the rated short-duration power frequency withstand voltage.

8.3.2 Determination of the partial discharge magnitude at a specified test voltage

8.3.2.1 Measurement without pre-stressing

The **partial discharge** magnitude in terms of the specified quantity is measured at a specified voltage, which can be well above the expected **partial discharge inception voltage**. The voltage is gradually increased from a low value to the specified value and maintained there for the specified time. As the magnitudes can change with time, the specified quantity shall be measured at the end of this time.

The magnitude of the **partial discharges** may also be measured and recorded while the voltage is being increased or reduced or throughout the entire test period.

8.3.2.2 Measurement with pre-stressing

The test is made by raising the test voltage from a value below the specified **partial discharge test voltage** up to a specified voltage exceeding this voltage. The voltage is then maintained for the specified time and, thereafter, gradually reduced to the specified **partial discharge test voltage**.

At this voltage level, the voltage is maintained for a specified time and, at the end of this time, the specified PD quantity is measured in a given time interval or throughout the specified time.

9 Measuring uncertainty and sensitivity

The magnitude, duration and **pulse repetition rate** of **PD pulses** can be greatly affected by the time of voltage application. Also, the measurement of different quantities related to **PD pulses** usually presents larger uncertainties than other measurements during high-voltage tests. Consequently, it can be difficult to confirm PD test data by repeating tests. This should be taken into consideration when specifying **partial discharge** acceptance tests.

The measurement of **apparent charge** q using a measuring system in accordance with the provisions of this standard and calibrated in accordance with the provisions of clauses 5 and 7, is considered to have a measuring uncertainty of $\pm 10\%$ or ± 1 pC, whichever is the greater.

The measurements are also affected by disturbances (clause 10) or **background noise**, which should be low enough to permit a sufficiently sensitive and accurate measurement of the **specified partial discharge magnitude**.

The minimum magnitude of PD quantities which can be measured in a particular test is in general limited by disturbances. Though these can effectively be eliminated by suitable techniques as described in annex G, additional limits are determined by the internal noise

levels of the measuring instruments and systems, by the physical dimensions and layout of the test circuit and the values of the test circuit parameters.

Another limit for the measurement of a minimum PD quantity is set by the capacitance ratio C_a/C_k and optimal values for the input impedance of the coupling device and its matching to the measuring instruments used. Highest sensitivity would be realized if $C_k \gg C_a$, a condition which is generally inconvenient to satisfy due to the additional loading of the high-voltage supply. Thus, the nominal value of C_k is limited for actual tests, but acceptable sensitivity is usually achieved with C_k about 1 nF or higher.

10 Disturbances

The measurements are affected by disturbances which should be low enough to permit a sufficiently sensitive and accurate measurement of the PD quantity to be monitored. As disturbances may coincide with **PD pulses** and as they are often superimposed on the measured quantities, the **background noise** level should preferably be less than 50 % of a specified permissible **partial discharge** magnitude, if not otherwise specified by a relevant technical committee. For acceptance tests and type tests on high-voltage equipment, the **background noise** level shall be recorded.

High readings that are clearly known to be caused by external disturbances may be neglected.

Signal gating by time window, polarity discrimination, or similar methods can result in the loss of true **partial discharge** signals if those signals occur concurrently with the disturbance or the gated-out (inhibited) part of the cycle. For this reason, the signal should not be blocked by the gate for more than 2 % of each test voltage period in alternating voltage systems, nor by more than 2 % of the cumulative test time in direct voltage systems.

If, however, several mains-synchronized interference sources per period are present, the blocking interval limit may be increased to 10 % of the test voltage period. Hence, this gating shall be set before the full test voltage is applied and these settings shall not be altered during the test. The relevant technical committee may decide on different limits for signal gating.

NOTE Nearby operation of large rectifiers or inverters can produce a particular type of regularly repeated disturbance, which is related to the transition of current in the rectifier or inverter elements.

Further information regarding disturbances and mitigation thereof is given in annex G.

11 Partial discharge measurements during tests with direct voltage

11.1 General

Test objects with solid or liquid impregnated insulation show very different **partial discharge** characteristics when tested with direct voltage compared with those with alternating voltage. The differences may be minor in objects with gaseous insulation.

Some of these differences are summarized as follows:

- the **discharge pulse repetition rate** may be very low for direct voltage applied to solid insulation, because the time interval between discharges at each discharge site is determined by the relaxation time constants of the insulation;
- numerous discharges may occur when the applied voltage is changed. In particular, polarity reversal during test can cause numerous discharges at low voltage, but subsequently the **pulse repetition rate** will decrease to the steady-state condition;
- in liquid insulation, motion of the liquid tends to reduce the relaxation time constants so that discharges are more frequent;
- the PD characteristics of test objects may be affected by ripple on the test voltage.

NOTE 1 With direct voltage, the effect of voltage changes may be pronounced because the stress distribution is no longer primarily determined by the volume or surface resistivities, as it would be under conditions of constant voltage.

NOTE 2 Specific PD magnitudes, pulse count limits and the duration of voltage application should be determined by the relevant technical committee.

11.2 PD quantities

PD measurements with direct voltage should be based on the following quantities:

- apparent charge of each individual PD pulse occurring during a specified time interval Δt_i at constant test voltage, as defined in 3.3.1 (see Figure H.1a)).
- accumulated apparent charge of a PD pulse train occurring within a specified time interval Δt_i at constant test voltage, as defined in 3.12 (see Figure H.1b)).
- PD pulse count m of PD pulse trains as defined in 3.13 exceeding specified limits of the apparent charge magnitude q_m during a specified time interval Δt_i at constant test voltage level (see Figure H.2a)).
- PD pulse count m occurring within specified ranges of the apparent charge magnitude q_m for a specified time interval Δt_i at constant test voltage level (see Figure H.2b)).

To determine the PD pulse count m care should be taken so that noisy pulses are not counted to avoid misleading statistics. Thus before starting the actual PD measurement the background noise level in terms of pC shall be determined. Based on this the apparent charge threshold level shall be adjusted to at least twice the background noise.

Values for the PD quantities listed above shall be specified by the relevant Technical Committee.

11.3 Voltages related to partial discharges

11.3.1 Partial discharge inception and extinction voltages

The **partial discharge** inception and extinction voltages may be difficult to determine during tests with direct voltages as they are dependent on factors such as the voltage distributions under variable voltages, temperature and pressure. **Partial discharges** are more likely to occur during the initial application of voltage or during voltage changes and then become more intermittent as the voltage distribution becomes resistive.

Under certain conditions, the **partial discharges** can continue even after removal of the test voltage. This is valid particularly for combinations of solid, liquid and gaseous insulation.

NOTE In some cases, application of direct voltage to test objects with solid insulation will result in a conditioning process for the **partial discharges**. This is evidenced by PD count rates increasing and decreasing cyclically, with a constant applied voltage, until a conditioned state is reached after a long period.

11.3.2 Partial discharge test voltage

During application of the **partial discharge test voltage**, the test object should not exhibit **PD pulse** quantities exceeding a specified magnitude. Whereas for alternating voltages in general only **apparent charge magnitudes** are considered, for direct voltage tests also the number of **partial discharge pulses** exceeding a specified magnitude should not exceed a specified total during a specified time at the test voltage. It should be noted that single high-magnitude **PD pulses** can occur during the test.

11.4 Test circuits and measuring systems

To measure the apparent charge according to 3.3.1, the basic circuits shown in Figure 1a to Figure 1d shall be used in conjunction with either analogue or digital PD measuring systems, as described in 4.3 and 4.4 and Annex E. The PD instruments applied shall have a pulse train response that is independent of the repetition rate of PD pulses.

To indicate the PD pulse count m , the application of either digital PD instruments with integrated pulse counters or analogue PD instruments in combination with suitable pulse counting devices is recommended.

The calibration procedures recommended in Clause 5 and the calibrators specified in Clause 6 can also be applied for testing with direct voltage.

11.5 Tests

11.5.1 Choice of test procedures

The procedures described for alternating voltage to determine the **PD inception and extinction voltages** are generally not applicable for tests with direct voltage as the stress on the dielectric during voltage rise and decrease is different from that during the period when the voltage is constant.

There is no accepted general method for the determination of **partial discharge** quantities during tests with direct voltage. Whatever method is used, it is important to note that magnitudes related to **partial discharges** at the beginning of the voltage application can be different from the magnitudes measured after a considerable time at the same test voltage.

11.5.2 Disturbances

The information given in clause 10 is also applicable for tests with direct voltages. However, in this case, a particular type of regularly repeated disturbance can occur, which is related to the commutation of current in the rectifier elements of the direct voltage source.

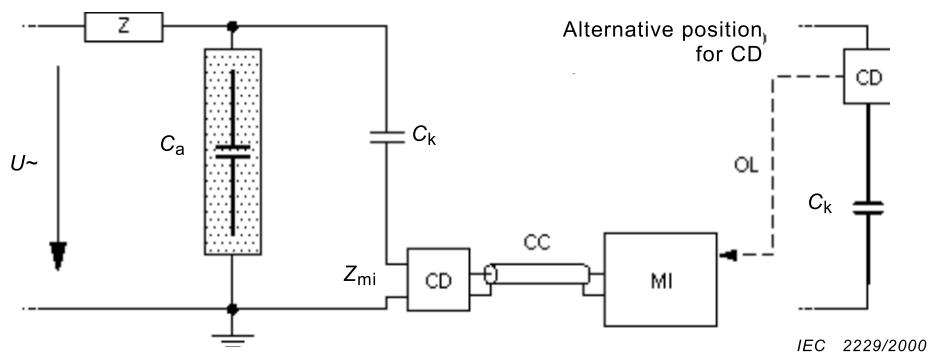


Figure 1a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor

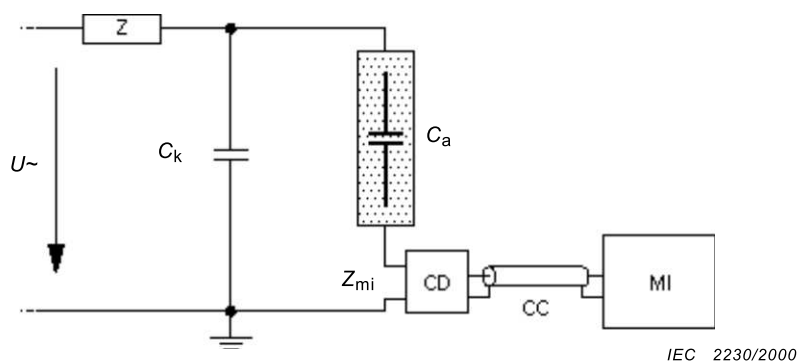


Figure 1b – Coupling device CD in series with the test object

Components

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

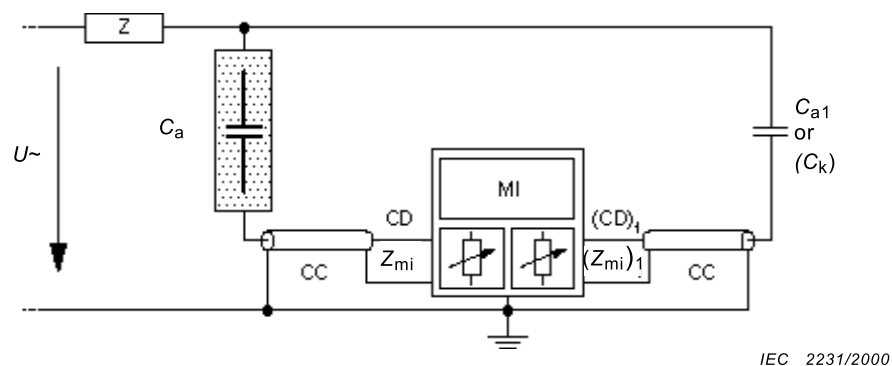


Figure 1c – Balanced circuit arrangement

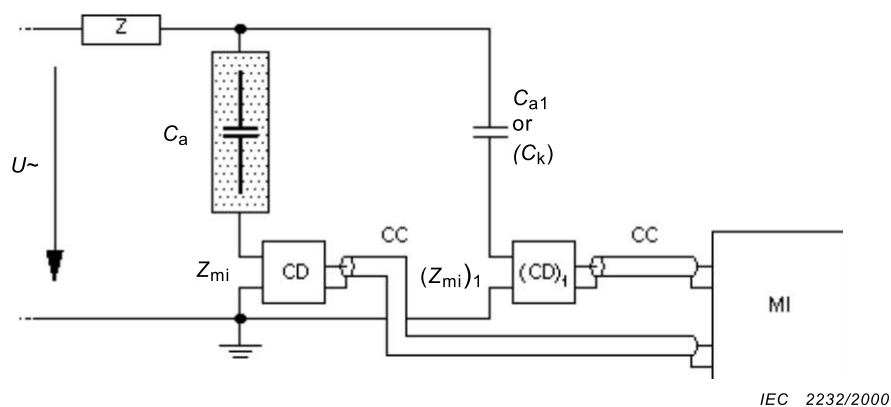
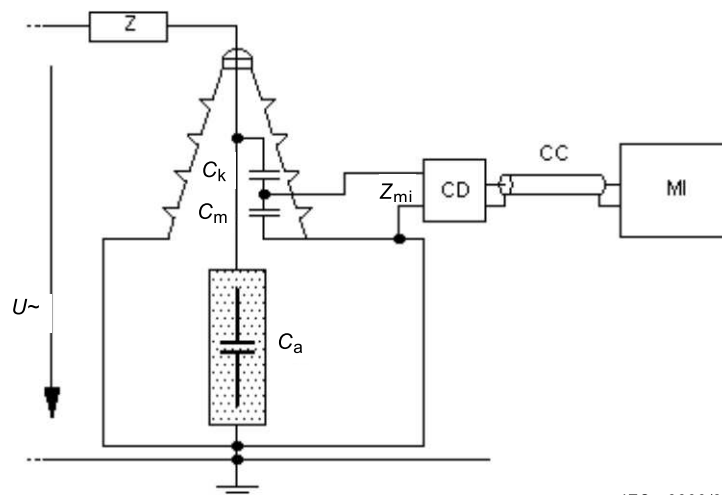


Figure 1d – Polarity discrimination circuit arrangement

Components

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

Figure 1 – Basic partial discharge test circuits

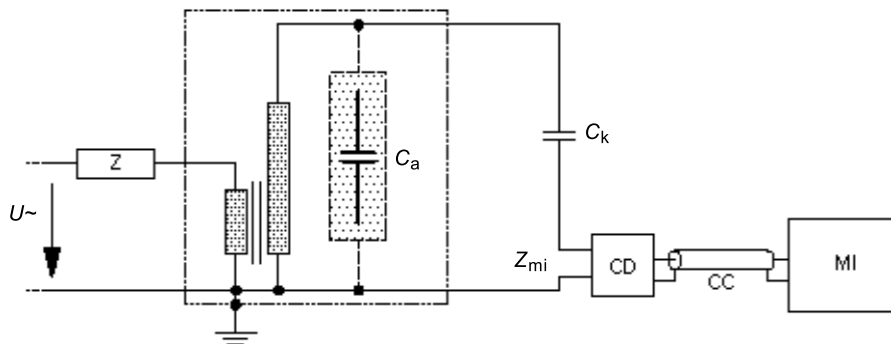


IEC 2233/2000

Components

- $U_{\sim}$ low- or high-voltage supply
- Z_{mi} input impedance of measuring system
- CC connecting cable
- C_k coupling capacitor
- C_m capacitance in parallel to Z_{mi}
- CD coupling device
- C_a test object
- MI measuring instrument
- Z filter

Figure 2 – Test circuit for measurement at a tapping of a bushing



IEC 2234/2000

Components

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

Figure 3 – Test circuit for measuring self-excited test objects

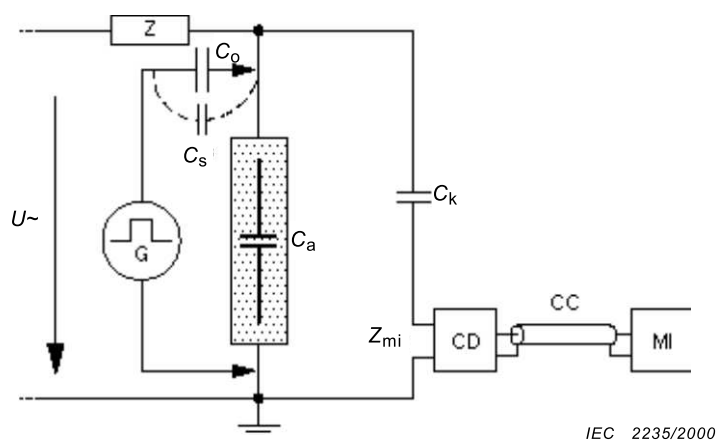


Figure 4a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor

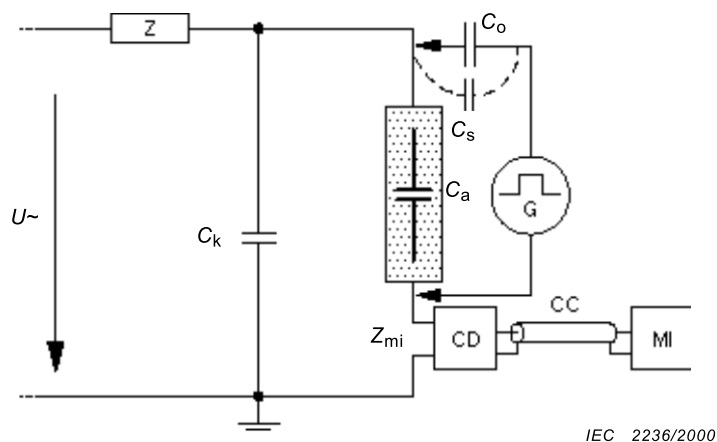
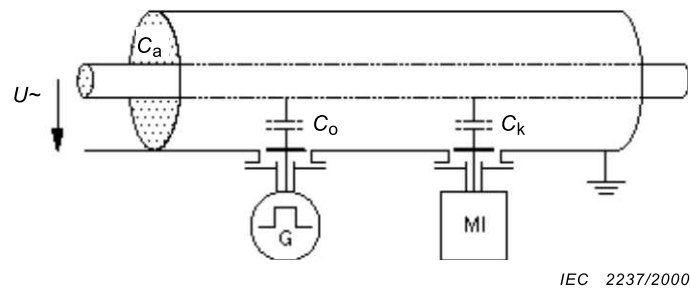


Figure 4b – Coupling device CD in series with the test object

Components

$U_{\sim}$	high-voltage supply
G	step voltage generator
C_0	calibration capacitor
Z_{mi}	input impedance of measuring system
CC	connecting cable
C_a	test object
C_k	coupling capacitor
CD	coupling device
C_s	stray capacitance
MI	measuring instrument
Z	filter

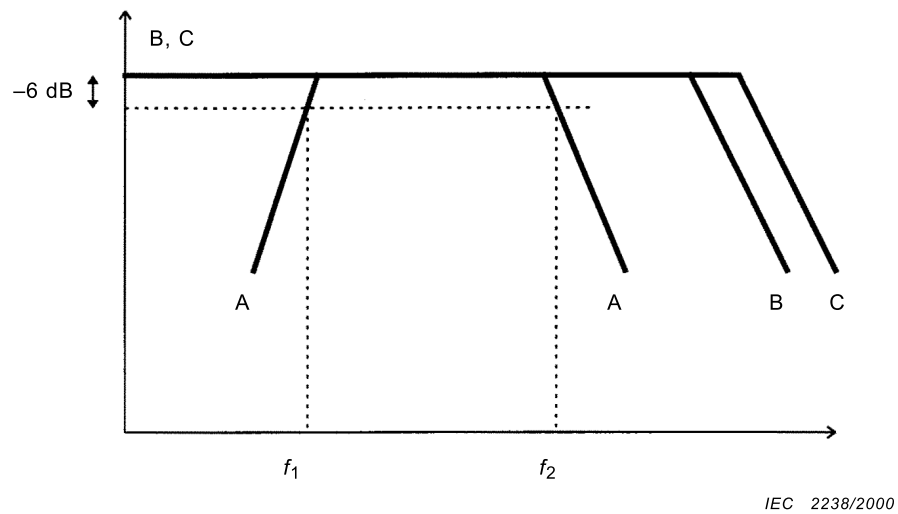


Components

- $U_{\sim}$ high-voltage supply
- MI measuring instrument
- C_a test object
- C_k coupling capacitor
- C_o calibration capacitor
- G step voltage generator

Figure 4c – Test circuit for measurement in GIS

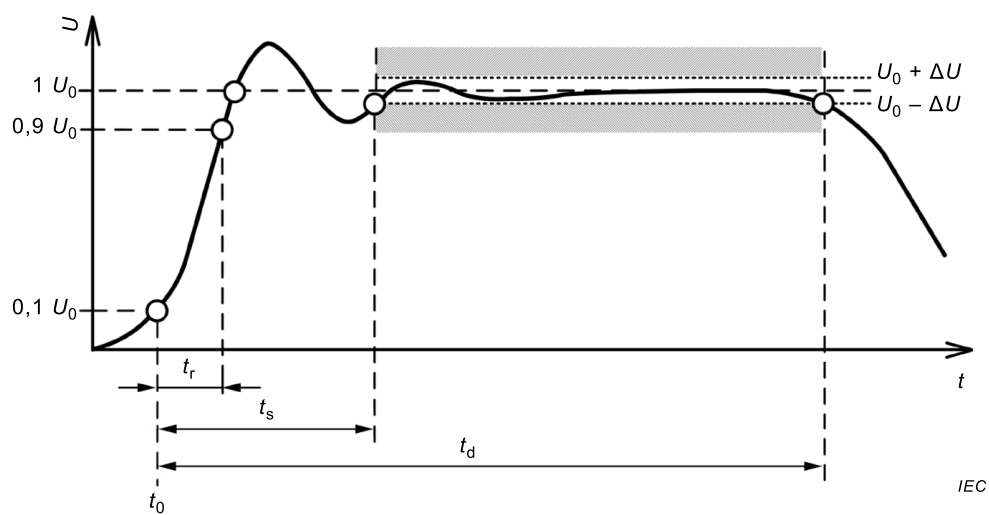
Figure 4 – Connections for the calibration of the complete test arrangement



Key

- A bandpass of the measuring system
- B amplitude frequency spectrum of the PD pulse
- C amplitude frequency spectrum of calibration pulse
- f_1 lower limit frequency
- f_2 upper limit frequency

Figure 5 – Correct relationship between amplitude and frequency to minimize integration errors for a wide-band system



Key

U_0 step voltage magnitude
 t_0 origin of the step voltage
 t_r rise time of the step voltage
 t_s time to steady state

t_d step voltage duration
 $(t_d - t_s)$ steady state duration
 ΔU absolute voltage deviation from U_0

Figure 6 – Step voltage parameters of a calibrator

Annex A (normative)

Performance test on a calibrator

A.1 General

Calibrators as described in clause 6 are used to evaluate the **scale factor** k of a measuring system used to quantify PD quantities. As the characteristics of such calibrators can change with time of application, periodical checks of these characteristics (rise time t_r , accuracy of quoted charge q) should be made at regular time intervals and after repairs. The following procedures are proposed to check such calibrators.

A.2 Reference method

The charge produced by the calibrator shall be compared with the charge produced by a reference calibrator. The charge shall be measured with the same measuring system in both cases.

The reference calibrator shall be traceable to national standards.

NOTE The measuring system used may be a PD measuring system in accordance with this standard or a digital oscilloscope with capabilities of integration (see figure A.1a), or a device with electronic integration.

The result of the test shall be determined as the mean of at least 10 measurements.

A.3 Numerical integration method

As shown in figure A.1a, with the output terminals of the calibrator under test loaded by a resistor R_m , the voltage $u_m(t)$ can be measured by a calibrated digital oscilloscope of **bandwidth** not less than 50 MHz. The value of R_m should be selected between 50 Ω and 200 Ω . Connections between the calibrator and R_m as well as to the oscilloscope shall be short. The input resistance of the oscilloscope can contribute to the value of R_m . The test circuit, including the measuring resistor R_m , shall be such that oscillations on the recorded waveform have decayed to less than 2 % of the average step magnitude within the time used for the integration.

The result of the test shall be determined as the mean of at least 10 measurements.

With reference to figure A.1a, the charge q generated by the calibrator is

$$q = \int i(t)dt = \frac{1}{R_m} \int u_m(t)dt$$

where

$i(t)$ is the current pulse generated by the calibrator;

$u_m(t)$ the voltage pulse measured by the oscilloscope.

Therefore, the accuracy of quantifying q is related to the accuracy of the integration procedure and to the accuracy of the value of R_m .

In figure A.1b, two typical records for $u_m(t)$ are provided for a calibrator with $C_0 = 141$ pF and $R_m = 33$ Ω and $R_m = 200$ Ω respectively. Note that too low R_m values can lead to an oscillating voltage pulse and can result in larger errors in integration (and hence to unacceptable uncertainty).

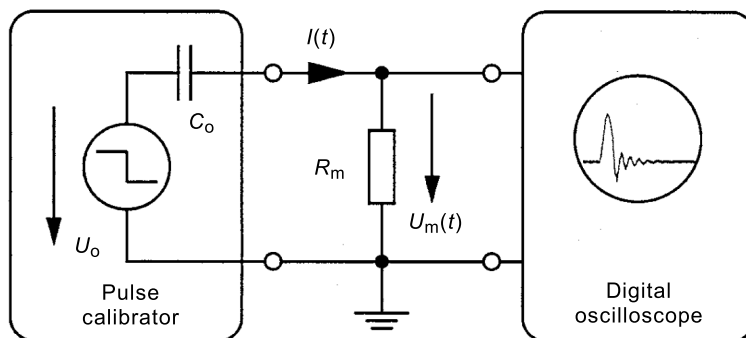
The actual rise-time t_r of the calibrator is approximately equal to the duration of the first (positive) voltage swing, if $R_m C_0 < t_r$. This inequality is, in general, always fulfilled for low R_m -values, if also $C_0 \leq 150$ pF.

The digitizer should be verified with a suitable method, for example the one outlined in A.2, on all ranges used in order to verify that it does not exhibit an overly large creepage in the response to fast steps. A creeping response can lead to large uncertainty for the charge calculated with numerical integration.

NOTE Integration of $u_m(t)$ can in general be made by built-in algorithms of digital oscilloscopes where $\int u_m(t) dt$ is calculated. As the accuracy of this integration procedure can be unknown, it is proposed to calibrate the oscilloscope as well as the algorithm used to compute q by replacing the calibrator under test by a step voltage source of amplitude U_{ref} in series with a reference capacitor C_{ref} . Consequently, current pulses $i(t)$ are produced with similar shape and charge to that of the pulses from the calibrator under test. As then

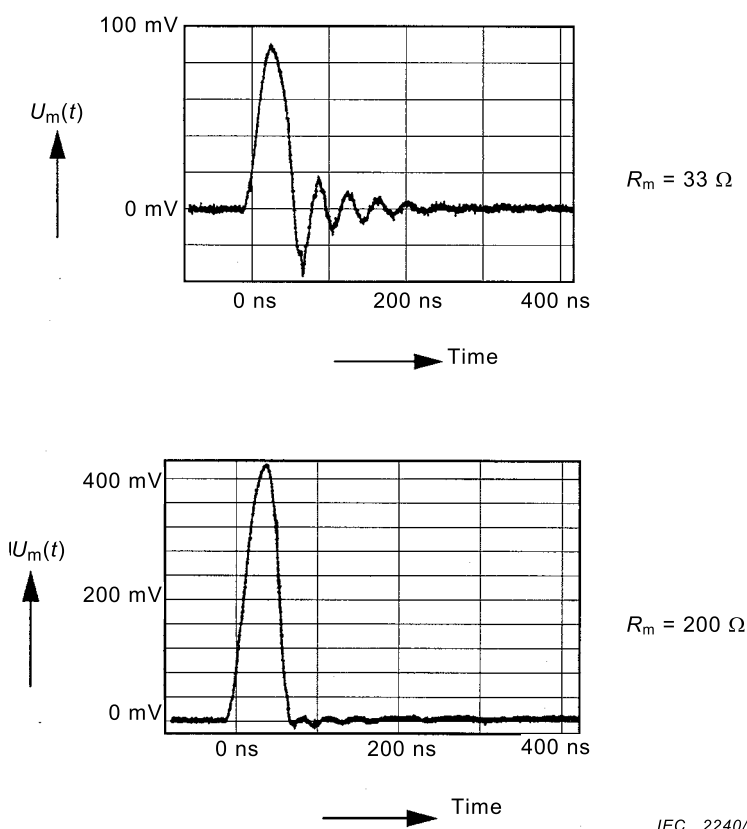
$$q_{ref} = U_{ref} \times C_{ref}$$

this reference charge magnitude q_{ref} is known with an uncertainty which is given by the uncertainties of U_{ref} and C_{ref} only. q_{ref} may thus be used to check the procedure as described before.



IEC 2239/2000

Figure A.1a – Measuring circuit



IEC 2240/2000

Figure A.1b – Calibration pulses $u_m(t)$ of a typical calibrator which is fed to measuring resistances $R_m = 33 \, \Omega$ and $R_m = 200 \, \Omega$ respectively ($q = 100 \, \text{pC}$)

Figure A.1 – Calibration of pulse calibrators

The voltage and time parameters of the step voltage specified in 6.1 and in Figure 6 can be determined if the current through the calibration capacitor C_0 caused by the voltage step U_0 is measured by means of a resistive shunt R_m (see Figure A.2). For example, this shunt can be a $50 \, \Omega$ feed-through low-inductive termination. Under this condition the calibrating charge can be determined based on a numerical integration of the time dependent voltage signal $u_r(t)$ appearing across R_m . Care shall be taken on the offset voltage which shall be adjusted exactly to zero to avoid an integration error.

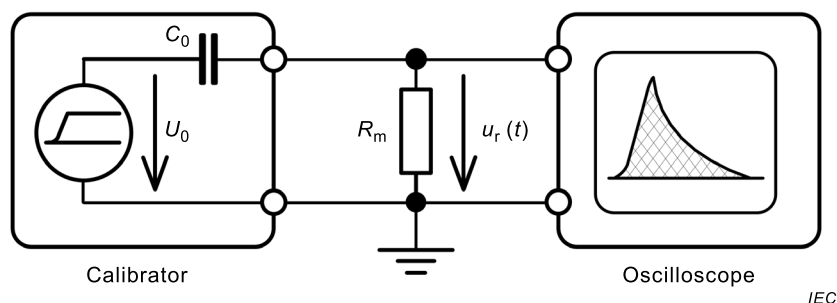


Figure A.2 – Setup for performance tests of calibrators using the numerical integration

A.4 Step voltage response method

The charge q_0 generated by the calibrator can also be determined by measuring the transient voltage appearing across a measuring capacitor C_m using the circuit shown in Figure A.3 and [1]¹. As the series connection of C_0 and C_m comprises a voltage divider, the magnitude U_c of the time dependent voltage $u_c(t)$, which occurs across C_m at steady state condition, is direct proportional to the step voltage magnitude U_0 generated by the calibrator:

$$U_c = U_0 \times C_0 / (C_0 + C_m)$$

The charge q_c transferred from the calibrator to the measuring capacitor C_m can thus be expressed by:

$$q_c = q_0 / (1 + C_0 / C_m)$$

Under the condition $C_m \gg C_0$ the charge q_c injected into C_m becomes equal to that charge amount q_0 created by the calibrator:

$$q_0 \approx q_c \approx U_c \times C_m$$

To ensure a measurement uncertainty below 3 %, the capacitance of C_m should be selected not below 10 nF including both the capacitance of the connecting cable and the input capacitance of the oscilloscope. Under this condition a calibrating charge of $q_0 = 100$ pC would cause a step voltage magnitude of $U_c \approx 10$ mV which can be measured at the desired uncertainty using commercially available digital oscilloscopes, in particular if the averaging mode is adopted. For calibrating charges $q_0 < 100$ pC an active integration of the total current flowing through C_0 is recommended to enhance the signal magnitude being recorded by the oscilloscope in order to ensure the specified measuring uncertainty. For more information in this respect see reference [1].

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

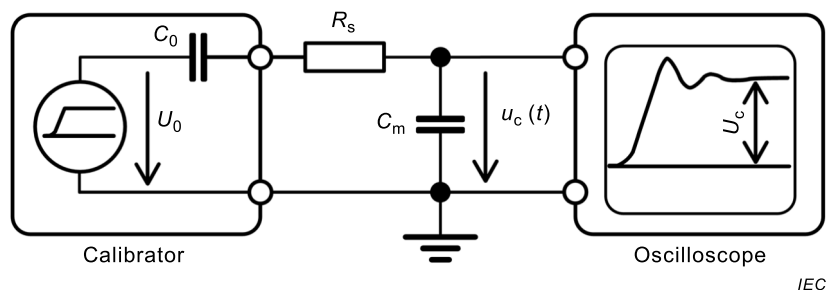
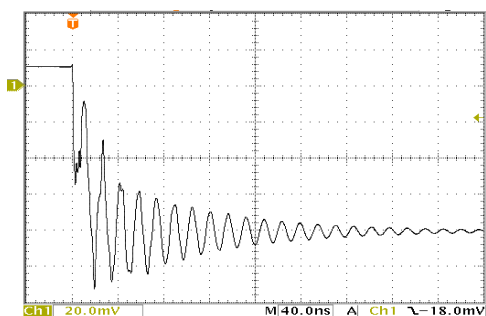


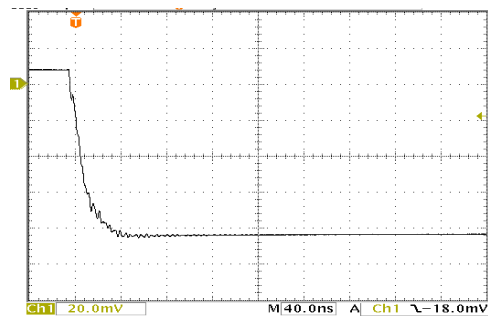
Figure A.3 – Setup for performance tests of calibrators using the step voltage method

The circuit shown in Figure A.3 can also be used for the determination of the significant time parameters presented in 6.1 and illustrated in Figure 6. As the series connection of C_0 and C_m comprises a voltage divider, the time dependent voltage $u_c(t)$ appearing across C_m is direct proportional to the time dependent voltage generated by the calibrator. For such measurements C_m should also be chosen in the order of 10 nF, as recommended for the determination of the calibrating charge. Moreover, C_m should be connected as close as possible to the input of the oscilloscope. Otherwise superimposed oscillations might be excited, as displayed in Figure A.4. To attenuate such disturbing oscillations, an additional series resistor R_s in the order of 100 Ω should be connected as closely as possible to the output of the calibrator. Moreover, the connection leads between calibrator and oscilloscope should not exceed a length of 1 m.



IEC

a) $R_s = 10 \Omega$



IEC

b) $R_s = 100 \Omega$

voltage scale: 20 mV/div; time scale: 40 ns/div

Figure A.4 – Impact of the series resistor R_s on the step voltage response appearing across C_m using the circuit according to Figure A.3, where the oscilloscope was connected to the calibrator via a 50 Ω measuring cable of 1 m long.

Annex B (informative)

Test circuits

Apart from energizing the test object with test voltage, the essential task of a **partial discharge** test circuit is to provide appropriate conditions for the detection of **partial discharges** within the test object at a specified **partial discharge test voltage**. This is best achieved when the various components composing the test circuit are co-ordinated so that the current pulses resulting from **partial discharges** have magnitudes and shapes that are most favourable for detection.

There are four basic circuits from which all other test circuits for the detection and measurement of **partial discharges** are derived. These circuits, which are shown in figures 1a to 1d, are briefly described below.

Note that, for these basic circuits, the minimum magnitude of any PD quantity which can be measured is dependent on the ratio C_k/C_a (see clause 9) and limited by disturbances.

The coupling device in the circuit of figure 1a is placed at the earth side of the coupling capacitor (but see note in 4.2). This arrangement has the advantage of being suitable for test objects having one earthed terminal, the test object being connected directly between the high-voltage source and earth. The filter or impedance between the test object and the high-voltage source serves to attenuate disturbances from the high-voltage source. It also increases sensitivity in the measurements by providing blocking of the PD current pulses from within the test object which would otherwise partly be bypassed through the source impedance.

In the circuit of figure 1b, the coupling device is placed at the earth side of the test object. The low-voltage side of the test object must therefore be isolated from earth (but see note in 4.2).

A protection circuit, designed to withstand the breakdown current in test objects which fail during test, should be combined with the coupling device.

For test circuits with low capacitance components, the circuit of figure 1b can provide a better sensitivity compared to that of figure 1a.

NOTE A circuit without a discrete coupling capacitor is sometimes used. The arrangement is similar to that shown in figure 1b, but the function of C_k is performed by stray capacitances. This arrangement may be suitable if the capacitance of the test object is small compared with the stray capacitance to earth. It may also be satisfactory if the terminal capacitance of the testing transformer is at least of the same order as C_a , provided that the filter is omitted.

The arrangement shown in figure 1c comprises a balanced circuit in which the instrument is connected between two coupling devices. The low-voltage sides of both the test object and the coupling capacitor must be isolated from earth (but see note in 4.2). Their capacitances need not be equal but should preferably be of the same order, and for the best results their dielectric loss factors, particularly in relation to their frequency dependence, should be similar. The circuit, which is based on rejecting common-mode currents through C_a and C_{a1} but amplifying **partial discharge** currents originating in the test object, has the merit of partially rejecting external disturbances. To adjust this rejection an artificial discharge source may be coupled between the high-voltage terminal and earth.

The variable input impedances of the balancing coupling devices are then adjusted until a minimum reading of the instrument is obtained. Rejection ratios of about 3 (for totally unequal test objects) to 1 000 or even higher (for identical, well-screened test objects) are possible.

The arrangement shown in figure 1d comprises a combination of the two basic circuits of figures 1a and 1b. It includes two capacitances, either or both of which may be test objects. These are connected to two coupling devices. In the connection shown, the low-voltage side of both components is isolated from earth (but see note in 4.2). The two capacitances need not be equal but should preferably be of the same order. The principle is not based upon a balanced circuit, but makes a comparison of the direction of flow of pulse signals detected in the two coupling devices. (Common-mode signals will be detected as having equal polarities; **partial discharge** signals from either component will be detected as having opposite polarities.) A gating system can then be used to discriminate between **partial discharge pulses** originating in the test object and disturbances from other parts of the test circuit.

From the basic circuits, many variations can be derived. The arrangement shown in figure 2, applicable to test objects fitted with capacitance graded bushings, is equivalent to that of figure 1a except that the bushing capacitance is used in place of the coupling capacitor C_k . If the bushing has a tapping, the coupling device is connected to this terminal; in this case, a relatively large capacitance C_m appears across the input impedance of the coupling device which can affect the sensitivity of the measurement.

Figure 3 shows a test circuit in which the test voltage is induced in the test object, for example a power transformer or an instrument transformer. In principle, it is equivalent to the arrangement shown in figure 1a.

Annex C (informative)

Measurements on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and on test objects with windings

C.1 General

In principle, any of the test circuits described in annex B can be used for these test objects, that is for test objects with distributed capacitive and inductive elements. For some of these test objects, the test voltage may be induced; for example, the high-voltage winding of a transformer may be excited from the low-voltage winding (see figure 3).

A detailed treatment of **partial discharge** measurements on objects with distributed elements, in which travelling wave and complex capacitive and inductive coupling phenomena take place, is beyond the scope of this standard. The following points, however, are of special importance and are particularly drawn to the attention of the relevant technical committees.

C.2 Attenuation and distortion phenomena

Due to attenuation and distortion of travelling waves within windings or along gas insulated switchgear and cables, the magnitude of **apparent charge** which is recorded at a terminal of the test object can differ in magnitude from that at the point where it originates. This difference is, in general, correlated with the band-pass characteristic of the measuring system. It can be possible to assess the effects by comparing the amplitude (and if possible the waveform) of the response to a calibration pulse when injected at the remote end of the test object and when injected at the end connected to the coupling device.

C.3 Resonance phenomena, reflections

The magnitude recorded at a terminal of a large power capacitor, winding, gas insulated switchgear or cable under test can be modified by resonance phenomena or by reflections at the terminals. This is especially important if the instrument used has a narrow-band frequency response. Reflection phenomena (for example, in cables) can be taken into account using special calibration techniques such as the use of double-pulse generators or their adverse effects avoided by the use of special techniques.

NOTE In PD measurements on large power capacitors there can also be problems to reach the desired sensitivity of the measurement.

C.4 Location of discharges

Various methods can be used to locate **partial discharges** in test objects with distributed elements. Some of these methods are based on simultaneous measurements at two or more terminals of the test object. Non-electrical methods as discussed in annex F may also be applicable.

Annex D (informative)

The use of radio disturbance (interference) meters for the detection of partial discharges

Instruments such as those specified by the International Special Committee on Radio Disturbance ("Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques, CISPR") of the IEC or similar organizations are in common use. Such instruments are often able to measure "radio disturbance voltages, currents and fields" (see CISPR 16-1:1993) within a large frequency range, based on different treatments of the input quantity. Within this standard, however, the expression "**radio disturbance meter**" is applied only for a specific radio disturbance (interference) measuring apparatus, which is specified for a frequency band of 150 kHz to 30 MHz (band B) and which fulfils the requirements for a quasi-peak measuring receiver.

The response of such **radio disturbance meters** to input voltage pulses of very short duration is first of all determined by the very well-defined overall passband-selectivity, i.e. the bandpass filter characteristics with a **bandwidth** Δf which is independent of the **midband frequency** f_m . This response is then weighted by a quasi-peak measuring circuit with a specified electrical charging time constant τ_1 and an electrical discharging time constant τ_2 , and by an output voltmeter, which, for conventional instruments, is of moving coil type, critically damped and having a mechanical time constant τ_3 . More modern instrumentation provides equivalent readings based on sophisticated electronic circuits.

For a constant and purely resistive input impedance, therefore, the characteristic of such instruments makes them respond basically to the charge of an input current pulse of very short duration, whose amplitude frequency spectrum is constant for **midband frequency** f_m used during the measurement. Due to the quasi-peak measuring circuit of this instrument, impulses having the same charge but different **pulse repetition rate**, will result in different readings on the instrument.

For very short duration and regularly repeated input current pulses, each of charge q , the meter reading U_{RDV} is given by:

$$U_{RDV} = \frac{q \times \Delta f \times Z_m \times f(N)}{k_i}$$

where

N is the pulse repetition frequency;

$f(N)$ is the non-linear function of N (see figure D.1);

Δf is the instrument bandwidth (at 6 dB);

Z_m is the value of a purely resistive measuring input impedance of the instrument;

k_i is the **scale factor** for the instrument ($= q/U_{RDV}$).

The **pulse repetition frequency** N is not equivalent to the **pulse repetition rate** n .

A **radio disturbance meter**, if designed as a quasi-peak voltmeter and specified for the frequency band B (0,15 MHz to 30 MHz) will have a **bandwidth** Δf of 9 kHz at 6 dB and time constants of $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms and $\tau_3 = 160$ ms.

For this instrument, short and constant pulses of 0,16 μ Vs applied to the instrument with a regular **pulse repetition frequency** N of 100 per second will give the same reading as a sine-wave input of 1 000 μ V r.m.s. at the tuned frequency. The variation of the reading with N for

this instrument is shown in figure D.1. Quantitatively, these instruments read $1\ \mu\text{V}$ for $Z_m = 60\ \Omega$, $N = 100$ and $q \approx 3\ \text{pC}$.

NOTE There is no generally applicable conversion factor between readings of **radio disturbance voltage**, as measured with a quasi-peak responding meter, and the **apparent charge**.

If **radio disturbance meters** of quasi-peak type are used for PD measurements, a coupling device as defined in 4.3.2 has to be used in combination with this instrument. Consequently, it should be calibrated and checked in the actual circuit by using **partial discharge** calibrators according to clause 5. It is recommended that this be done by the application of regularly repeated pulses q_0 having a **pulse repetition frequency** N equal to approximately twice the frequency of the test voltage.

This will enable the instrument to give an approximation of the value of the **apparent charge** during an actual test near the inception voltage where the number of pulses per cycle is small. The **apparent charge magnitude** under these conditions is then approximately equal to q_0 multiplied by the ratio of the instrument reading during the test to that during the calibration. This relationship also applies over a limited range of **pulse repetition rates** where the variation of readings due to the factor $f(N)$ is small.

Whenever measurements are performed with a **radio disturbance meter**, the records from the test should include the readings obtained in microvolts and the determined equivalent **apparent charge** in picocoulombs together with relevant information concerning the determination of the **scale factor**.

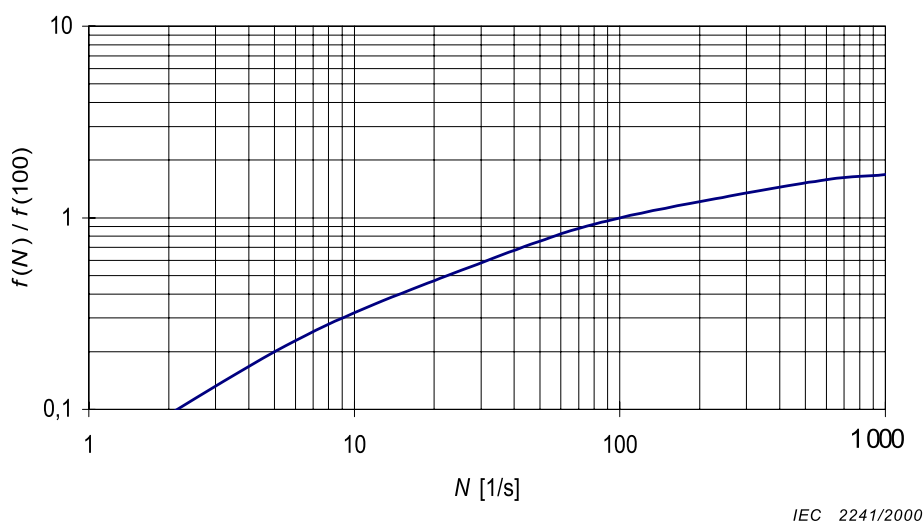


Figure D.1 – Variation of CISPR radio disturbance meter reading $f(N)$ with repetition frequency N , for constant pulses

Annex E (informative)

PD measuring instruments

E.1 General

For processing the PD signal captured from the terminals of the test object by means of a coupling device, comprising a coupling capacitor in combination with a measuring impedance, both the analogue or digital PD signal processing can be applied. The major units of both analogue and digital PD instruments are shown in the Figures E.2 and E.3 respectively.

Additionally to the PD pulse trains, an AC signal derived from the test voltage should be digitized to enable the display of characteristic phase-resolved PD patterns, as displayed in Figure E.4

The main objective of applying digital techniques to PD measurements is based on recording a **PD pulse** quantified by at least its **apparent charge q_i** and its instantaneous value of the test voltage u_i occurring at the time instant t_i or, for alternating voltages, phase angle of occurrence ϕ_i within a voltage cycle of the test voltage. As, however, the quality of hardware and software used can limit the accuracy and resolution of the measurement of these parameters, this annex provides recommendations which are relevant for capturing and registration of the discharge sequences.

The main objective can be subdivided in two sub-objectives:

- the recording, storage and evaluation of at least one or more of the **PD pulses** related quantities;
- the post-processing of the recorded data to evaluate and to display additional parameters and dependencies (for example, statistical data of the PD activity within time-windows or in the course of time; application of numerical techniques to reduce the disturbance level; presentation of results by graphical displays; evaluation of parameters, which may be used for an in-depth analysis of the insulation quality of the test object, etc.).

NOTE Digital measuring systems are often supplemented by computers to aid the storage and evaluation of quantities related to **PD pulses**.

This second sub-objective is not discussed in this standard. However, the attention of the technical committees is drawn to these possibilities.

In the case of time behaviour analysis of PD quantities, a compression of recorded data can be applied. For this purpose, different data reduction methods can be used. Manufacturers of digital systems should, however, indicate the principles used for data compression.

E.2 Instructions for processing analogue apparent charge signals

The main feature of a **digital PD-instrument** is its ability to process the individual response signals of the analogue **apparent charge** instruments. In general, the peak value of these response signals can be assumed to be proportional to the individual charge q_i of a PD current pulse. Whereas for analogue instruments these peak values are displayed by oscilloscopes or peak voltmeters, the digital instrument must quantize and store, with adequate accuracy, the individual peak values q_i (and polarities, if possible) together with time t_i or **phase angle ϕ_i** of occurrence. As the shape of a response signal is strongly dependent on the measuring system characteristics and somewhat dependent on the shape of the individual PD current pulse, the processing procedure must be suited to the shape of the response signals, so that it can recognize the (positive or negative) peak value which can be assumed to be proportional to the individual charge q_i of the PD event.

To demonstrate this problem, in figure E.1 three output voltage signals caused by two consecutive **partial discharge** phenomena are shown. Figures E.1a and E.1b show output signals of a typical wide-band measuring system, the frequency characteristics of which are provided in the figure caption. The output signals of figure E.1c are typical for a simple narrow-band measuring system with $\Delta f \approx 10$ kHz and $f_m \approx 75$ kHz, for which the response is nearly symmetrical with respect to the voltage baseline. Though none of the three responses are yet significantly influenced by **superposition error**, i.e. the resolution time T_r is still adequate for both instruments, correct evaluation of the first peak's magnitude and polarity becomes difficult, as several peaks of the signal with different polarity are present. For wide-band systems, this first peak is often used to determine both q and the polarity of **partial discharge** current pulse. For the narrow-band response of figure E.1c, polarity information is generally indeterminate, and the largest peak of the response is the best measure of q . For both systems, however, only one peak (or q_i) value shall be quantized and recorded as the **apparent charge** value within the **pulse resolution time** T_r of the measuring system.

Figures E.1a and E.1b demonstrate a difficulty sometimes encountered with wide-band measuring systems: the duration and shape of a PD input current pulse, which is influenced by the discharge mechanism and the test object design, can be such that the second peak of the response signal is of larger magnitude than the first peak. Polarity-recognition as well as correct capturing of the first peak-amplitude is, therefore, difficult in such situations and the response of a particular manufacturer's PD instrument will depend on its design. Manufacturers of digital PD instruments should indicate the principle used to acquire, quantize and to record the correct magnitudes and polarities. The manufacturer shall also demonstrate proper function of the instruments by special test procedures.

E.3 Recommendations for recording test voltage, phase angle ϕ_i and time t_i of occurrence of a PD pulse

To identify the shape of a power frequency test voltage $u(t)$, the digital instrument should quantize the test voltage at least during those time-periods during which q_i -values are recorded. Continuous quantization of every period of the test voltage is, however, recommended.

As the phase ϕ_i or time instant t_i of alternating voltage systems has to be quantified with reference to the occurrence of the positive zero-crossing of the test voltage $u(t)$, it is necessary that the measuring system gives a true representation of the phase of the test voltage.

If the deviation of the instantaneous value of the test voltage, as read by the digital **partial discharge** instrument, from the instantaneous value read by a reference measuring system is less than 5 % of the peak value of the voltage, the digital instrument is also deemed able to record the phase of the test voltage. The appropriate **scale factors** for the two voltage measuring systems shall have been applied. The reference measuring system shall consist of a suitable instrument connected to the low-voltage arm of a voltage divider approved in accordance with IEC 60060-2 for alternating voltage. It should be independently demonstrated that the reference measuring system has a phase error less than 5 degrees.

For quantization of the test voltage, a rated resolution of at least 8 bits is recommended. The sampling rate of the quantization shall be at least 100 samples per cycle of the power frequency test voltage or 4 000 samples per second for direct test voltages. Since periodic sampling is recommended, interpolation may be used to determine test voltage values u_i , which occur at specific instants of time t_i between samples.

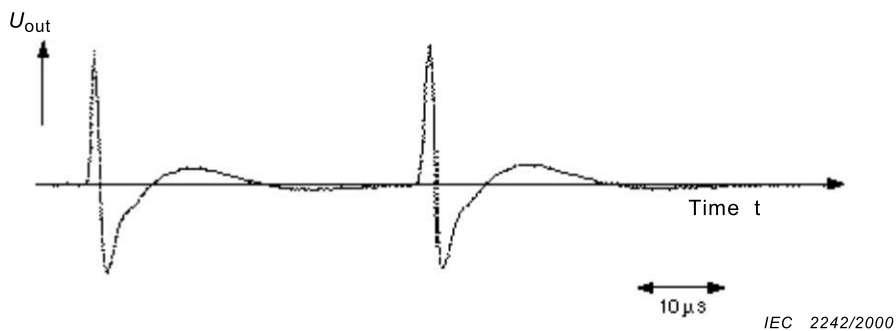


Figure E.1a – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, short-duration input pulse

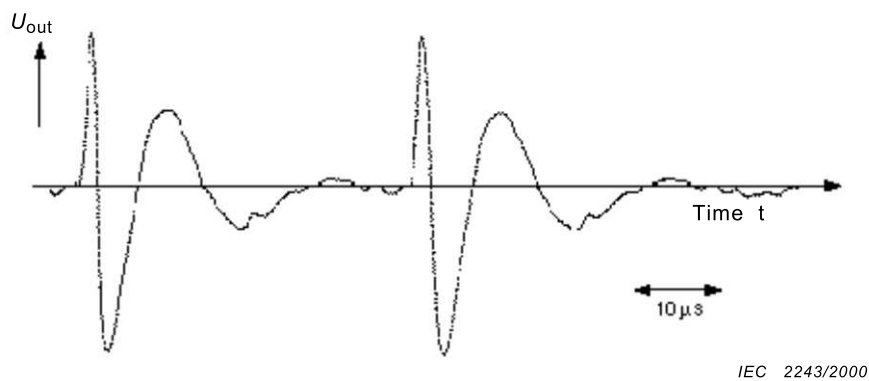


Figure E.1b – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, lengthened input pulse

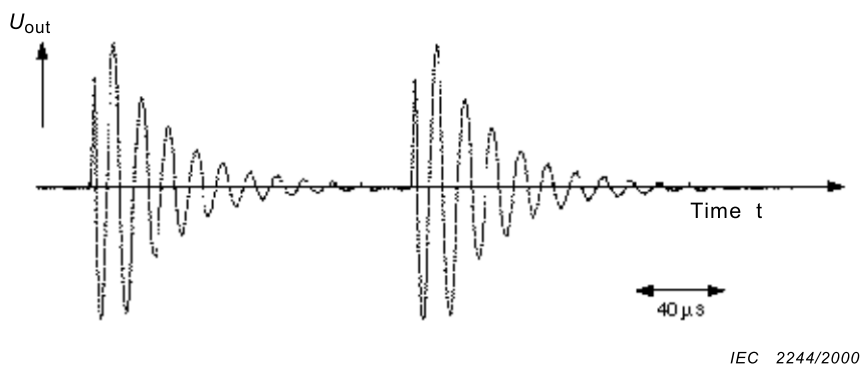
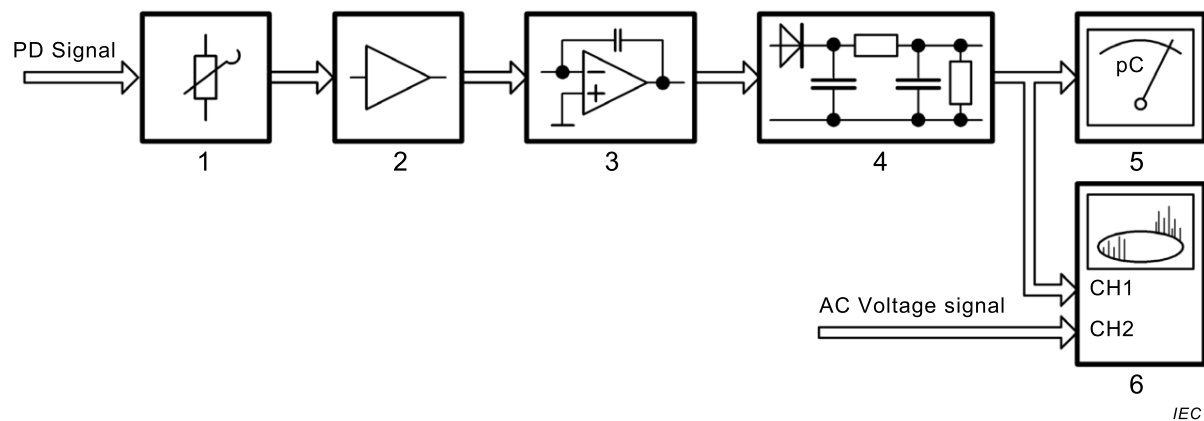


Figure E.1c – $\Delta f = 10$ kHz; $f_m = 75$ kHz

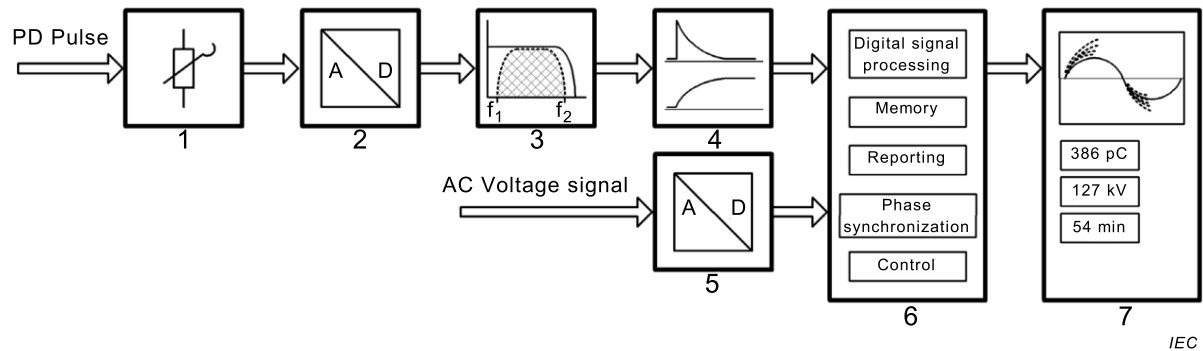
Figure E.1 – Output voltage signals U_{out} of two different PD measuring systems for apparent charge (double pulse)



Key

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Attenuator | 4 | Peak detector and evaluation unit |
| 2 | Amplifier | 5 | Reading instrument |
| 3 | Electronic Integrator | 6 | Visualization unit |

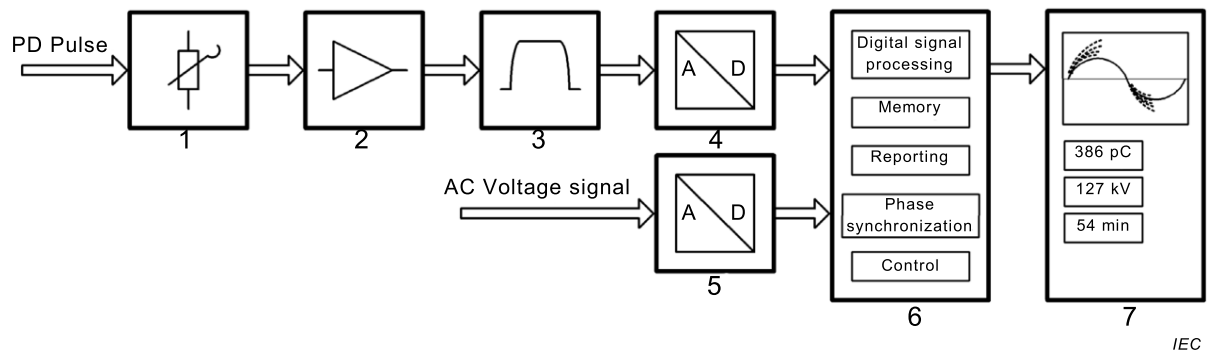
Figure E.2 – Block diagram of an analogue PD instrument equipped with an electronic integrator



Key

- | | | | |
|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Attenuator | 4 | Numerical integrator |
| 2 | A/D converter for PD pulses voltage | 5 | A/D converter for AC |
| 3 | Digital band-pass filter | 6 | Acquisition unit |
| | | 7 | Evaluation and visualization unit |

a) Direct A/D conversion of the input PD pulses

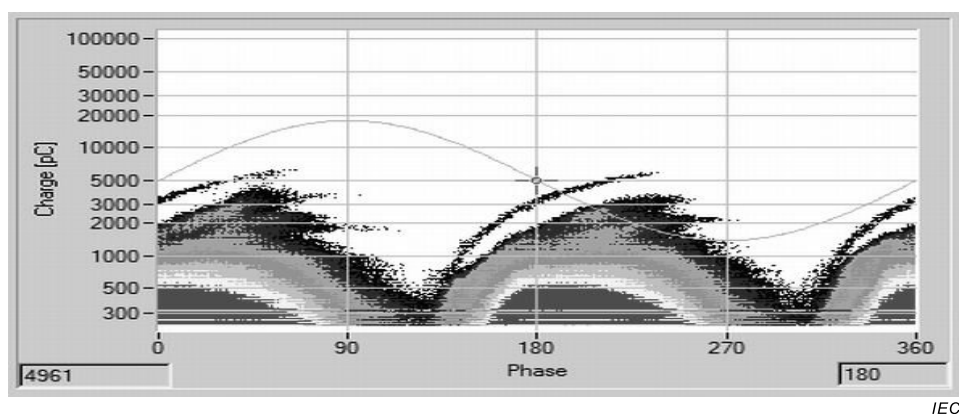


Key

- | | | | |
|---|------------------|---|--|
| 1 | Attenuator | 4 | A/D converter for apparent charge pulses |
| 2 | Amplifier | 5 | A/D converter for AC voltage signal |
| 3 | Band-pass filter | 6 | Acquisition unit |
| | | 7 | Evaluation and visualization unit |

b) A/D conversion after the integration of the input PD pulses by means of a band-pass filter has been performed

Figure E.3 – Block diagram of digital PD instruments



NOTE The PD pulses occurring during the negative half-cycle of the test voltage have been inverted which appear thus like positive pulses. Due to the large scattering PD magnitudes the logarithmic display mode has been used.

Figure E.4 – Example for a phase-resolved PD pattern

Annex F (informative)

Non-electrical methods of PD detection

F.1 General

Non-electrical methods of **partial discharge** detection include acoustical, optical and chemical methods and also, where practicable, the subsequent observation of the effects of any discharges on the test object.

In general, these methods are not suitable for quantitative measurement of **partial discharge** quantities as defined in this standard, but they are essentially used to detect and/or to locate the discharges.

F.2 Acoustic detection

Aural observations made in a room with low noise level may be used as a means of detecting **partial discharges**.

Non-subjective acoustical measurements, usually made with microphones or other acoustic transducers in combination with amplifiers and suitable display units, may also be useful, particularly for locating the discharges. Directionally selective microphones with high sensitivity above the audible frequency range are useful for locating corona discharges in air. Acoustic transducers may also be used for locating discharges in gas insulated switchgear or oil-immersed equipment such as transformers; they may be either inside or outside the enclosure.

F.3 Visual or optical detection

Visual observations can be carried out in a darkened room, after the eyes have become adapted to the dark and, if necessary, with the aid of binoculars of large aperture. Alternatively, a photographic record can be made, but fairly long exposure times are usually necessary. For special purposes, photo-multipliers or image intensifiers are sometimes used.

F.4 Chemical detection

The presence of **partial discharges** in oil- or gas-insulated apparatus may be detected in some cases by the analysis of the decomposition products dissolved in the oil or in the gas. These products accumulate during prolonged operation, so chemical analysis may also be used to estimate the degradation which has been caused by **partial discharges**.

F.5 Reference documents

For additional information, see:

IEC 60567:1992, *Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases*

IEC 60599:1999, *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*

IEC 61181:1993, *Impregnated insulating materials – Application of dissolved gas analysis (DGA) to factory tests on electrical equipment*

Annex G (informative)

Disturbances

G.1 Sources of disturbances

Quantitative measurements of **partial discharge** magnitudes are often obscured by interference caused by disturbances which fall into two categories:

- Disturbances which occur even if the test circuit is not energized. They can be caused for example by switching operations in other circuits, commutating machines, high-voltage tests in the vicinity, radio transmissions, etc., including inherent noise of the measuring instrument itself. They can also occur when the high-voltage supply is connected, but at zero voltage.
- Disturbances which only occur when the test circuit is energized, but which do not occur in the test object. These disturbances usually increase with increasing voltage. They can include for example **partial discharges** in the testing transformer, on the high-voltage conductors, or in bushings (if not part of the test object). Disturbances can also be caused by sparking of imperfectly earthed objects in the vicinity or by imperfect connections in the area of the high voltage, for example, by spark discharges between screens and other high-voltage conductors, connected with the screen only for testing purposes. Disturbances can also be caused by higher harmonics of the test voltage within or close to the **bandwidth** of the measuring system. Such higher harmonics are often present in the low-voltage supply due to the presence of solid-state switching devices (thyristors, etc.) and are transferred, together with the noise of sparking contacts, through the test transformer or through other connections, to the test and measuring circuit.

For the case of disturbances with direct voltages, see 11.5.2.

G.2 Detecting disturbances

The voltage-independent sources can be detected by a reading on the instrument when the test circuit is not energized or/and the high-voltage supply is connected to the test circuit, but at zero voltage. The value read on the instrument is a measure of these disturbances.

The voltage-dependent sources of disturbance can be detected in the following manner: the test object is either removed or replaced by an equivalent capacitor having no significant **partial discharges** at the specified test voltage. The circuit should be recalibrated by the procedure given in clause 5. The circuit should then be energized up to the full test voltage.

If the disturbance level exceeds 50 % of the maximum permissible **partial discharge** magnitude as specified for the test object, then measures should be introduced to reduce the disturbances. One or more of the methods described herein may be used to reduce the disturbances. It is incorrect to subtract the disturbance level from the measured **partial discharge** magnitude.

The use of an oscilloscope as an indicating instrument or the evaluation of digitally acquired PD quantities can help the observer to distinguish between **partial discharges** in the test object and external disturbances, such as **background noise**, and can make it possible to determine the type of the disturbances or identify the type of **partial discharge**.

Other electrical or non-electrical detection methods (annex F) are often useful for locating corona on the high-voltage leads or discharges elsewhere in the test area. They can also give independent confirmation of disturbance and **partial discharges** in the test object.

G.3 Reduction of disturbances

G.3.1 Screening and filtering

Reduction of disturbances can be achieved by suitably grounding all conducting structures, which should also be free of sharp protrusions in the vicinity of the tests and by filtering the power supplies for the test and measuring circuits. Good reduction is achieved by testing in a shielded room where all electrical connections into the room are made through filters that suppress disturbances.

G.3.2 Balanced circuits

A balanced circuit, as shown in figure 1c, can attenuate disturbances as mentioned above and often enables the observer to distinguish discharges in the test object despite discharges in other parts of the test circuit.

G.3.3 Electronic processing and recovering of signals

Generally and especially under industrial conditions, the sensitivity is limited by the presence of disturbances. Various electronic methods do exist, which may be used individually or in combination in order to separate the true **partial discharge** signal from the disturbances. They should only be used with care and they should never remove or mask significant PD signals. Some of these methods are described below.

G.3.3.1 Time-window method

The instrument may be provided with a gate which can be opened and closed at pre-selected moments, thus either passing the input signal or blocking it. If the disturbances occur during regular intervals, the gate can be closed during these intervals. In tests with alternating voltage, the true discharge signals often occur only at regularly repeated intervals during the cycles of test voltage. The time window can be phase-locked to open the gate only at these intervals.

G.3.3.2 Polarity discrimination methods

Partial discharge signals originating within the test object can be distinguished from disturbances originating outside the test circuit by comparing the relative polarity of the pulses at the output of two coupling devices, as shown in figure 1d. A logic system performs the comparison and operates the gate of the instrument, as described above, for pulses of the correct polarity. Consequently, only those pulses which originate from the test object are recorded.

However, disturbances which are electromagnetically induced in the loop formed by C_a and C_k cannot be discriminated from the **partial discharges** unless additional means are applied.

G.3.3.3 Pulse averaging

Many disturbances in an industrial environment are random, whereas **partial discharges** often recur at approximately the same phase in each cycle of applied voltage. It is therefore possible to greatly reduce the relative level of randomly occurring disturbances by using signal-averaging techniques.

G.3.3.4 Frequency selection

Broadcast radio disturbance is limited to discrete bands but will still affect wide-band **partial discharge** detectors if the transmission frequency falls within the sensitive frequency band of the instrument. To reduce this type of interference, the gain of the instrument amplifier can be reduced by bandstop filters tuned to the frequencies where the disturbances occur. Alternatively, narrow-band instruments can be used which are tuned to a frequency at which the interference level is negligible.

G.4 Disturbance levels

No definite values for the magnitudes of disturbances can be given, but as a general guide, disturbances equivalent to individual **apparent charge magnitudes** of some hundreds of picocoulombs can be encountered in unscreened industrial testing areas, especially in the case of test circuits of large physical dimensions. By the use of techniques described in this annex, such disturbances can be considerably reduced.

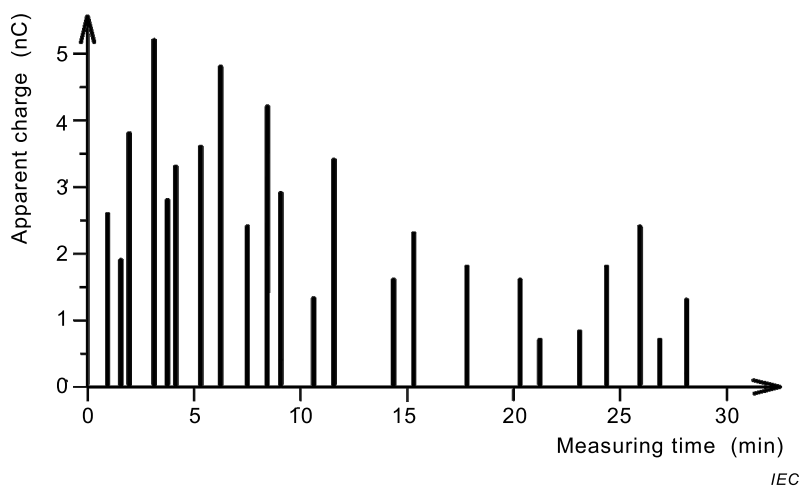
In shielded test rooms with effective application of the methods to reduce disturbances as described in this annex, and with adequate precautions to suppress disturbances from the power supply and from other electrical systems, the ultimate limit of measurement is that of the measuring system itself or that given by minor imperfections in the screening, grounding or filtering; a limit quantified by an **apparent charge q** of about 1 pC is generally attainable.

Annex H (informative)

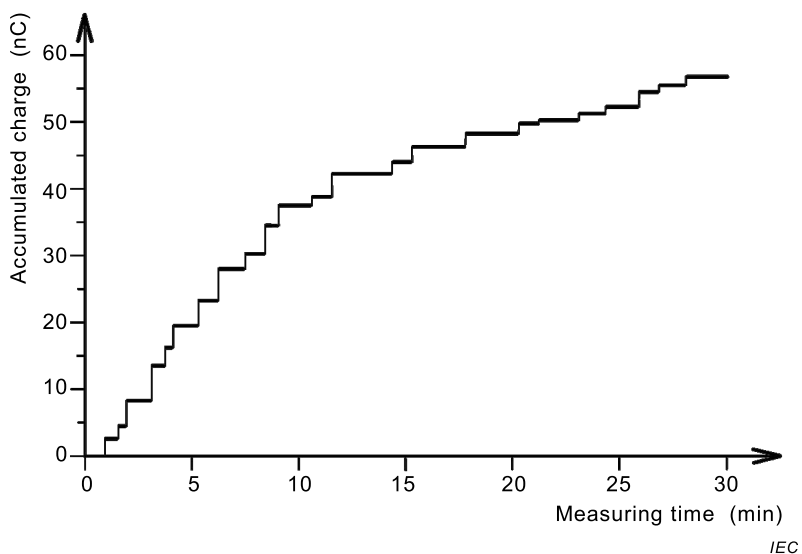
Evaluation of PD test results during tests with direct voltage

The evaluation of PD test results should be based on records of the apparent charge q of each individual PD pulse vs. the time at constant DC test voltage level, as shown in Figure H.1a). It is important to define the time between successive PD pulses where a resolution time of 2 ms is recommended.

Based on the graph shown in Figure H.1a), the accumulated apparent charge of the individual pulses vs. the measuring time is displayed in Figure H.1b).



a) Apparent charge of individual PD pulses

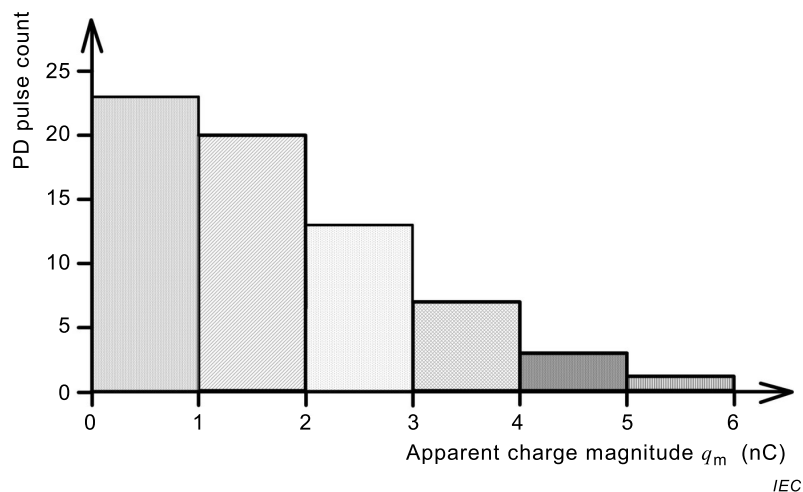


b) Accumulated apparent charge

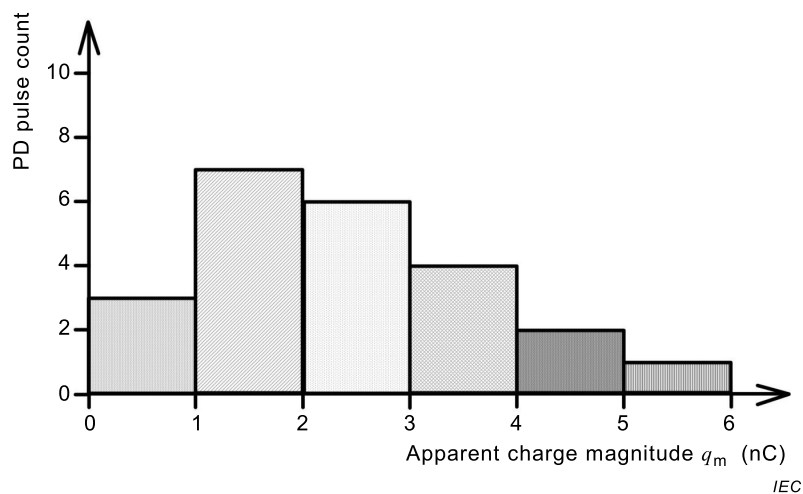
Figure H.1 – Display modes of apparent pulses against measuring time

Additional information on the PD behaviour can be gained if the PD pulse count m vs. the apparent charge magnitude exceeding specified threshold levels during the measuring time is

displayed, as illustrated in Figure H.2a). This graph has been deduced from the PD pulse train shown in Figure H.1a). Moreover the presentation of the pulse counts m occurring within specified limits of the apparent charge magnitude seems useful for assessing the PD activity during direct voltage tests.



a) PD pulse count m exceeding the following limits for the apparent charge magnitude q_m : 0 nC, 1 nC, 2 nC, 3 nC, 4 nC, 5 nC.



b) PD pulse count m occurring within the following apparent charge intervals q_{mi} : (0-1) nC, (1-2) nC, (2-3) nC, (3-4) nC, (4-5) nC

Figure H.2 – Histograms of PD pulse count m against apparent charge intervals

Bibliography

- [1] CIGRE WG D1.33, “Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance with IEC 60270,” Technical Brochure 366, *Electra*, vol. 60, no. 241, Dec. 2008.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	63
1 Domaine d'application	65
2 Références normatives.....	65
3 Termes et définitions.....	66
4 Circuits d'essai et systèmes de mesure	71
4.1 Prescriptions générales	71
4.2 Circuits d'essai pour tension alternative	71
4.3 Systèmes de mesure de charge apparente	72
4.3.1 Généralités.....	72
4.3.2 Dispositif de couplage	72
4.3.3 Réponse des appareils de mesure de la charge apparente à un train d'impulsions.....	72
4.3.4 Appareils de mesure de DP à large bande	73
4.3.5 Appareils de mesure de DP à large bande avec intégrateur actif	73
4.3.6 Appareils de mesure de DP à bande étroite	74
4.4 Prescriptions pour les mesures effectuées avec des appareils numériques de DP	74
4.4.1 Prescriptions pour la mesure de la charge apparente q	74
4.4.2 Exigences pour la mesure de la phase et de l'amplitude de la tension d'essai	75
4.5 Systèmes de mesure pour les grandeurs dérivées	75
4.5.1 Dispositifs de couplage.....	75
4.5.2 Appareils de mesure du taux de répétition des impulsions n	75
4.5.3 Appareils de mesure du courant de décharge moyen I	75
4.5.4 Appareils de mesure de la puissance de décharge P	75
4.5.5 Appareils de mesure du débit quadratique D	76
4.5.6 Appareils de mesure de la tension de perturbation radioélectrique.....	76
4.6 Appareils à bande passante ultra large pour la détection des DP	76
5 Etalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet.....	76
5.1 Généralités	76
5.2 Procédure d'étalonnage	77
6 Dispositifs d'étalonnage	77
6.1 Généralités	77
6.2 Dispositif d'étalonnage pour étalonnage du système de mesure dans le circuit d'essai complet.....	79
6.3 Dispositifs d'étalonnage pour essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesure	79
7 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage et des systèmes de mesure	79
7.1 Echancier des essais	80
7.2 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.1 Essais de type des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.2 Essais de routine des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.3 Essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage.....	80
7.2.4 Essais de contrôle des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage	80
7.2.5 Recueil de caractéristiques.....	81
7.3 Maintien des caractéristiques des systèmes de mesure	81
7.3.1 Essais de type des systèmes de mesure de DP	81
7.3.2 Essais de routine des systèmes de mesure	82

7.3.3	Essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures	82
7.3.4	Contrôle des caractéristiques des systèmes de mesures	82
7.3.5	Contrôle des possibilités supplémentaires des systèmes de mesures numériques	83
7.3.6	Recueil de caractéristiques.....	84
8	Essais	84
8.1	Prescriptions générales	84
8.2	Conditionnement de l'objet en essai.....	84
8.3	Choix des procédures d'essai	85
8.3.1	Détermination des tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles.....	85
8.3.2	Détermination de l'amplitude des décharges partielles à une tension d'essai spécifiée	85
9	Incertitude de mesure et sensibilité	86
10	Perturbations.....	86
11	Mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue	87
11.1	Généralités	87
11.2	Grandeurs relatives aux DP	87
11.3	Tensions relatives aux décharges partielles	88
11.3.1	Tensions d'apparition et d'extinction des décharges.....	88
11.3.2	Tension d'essai de décharges partielles	88
11.4	Circuits d'essai et dispositifs de mesure	88
11.5	Essais.....	88
11.5.1	Choix des procédures d'essai	88
11.5.2	Perturbations.....	89
Annexe A (normative)	Essai de détermination des caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage	95
Annexe B (informative)	Circuits d'essai	100
Annexe C (informative)	Mesures sur des câbles, postes à enveloppe métallique, condensateurs de puissance et objets en essai comprenant des enroulements.....	102
Annexe D (informative)	Utilisation de mesureurs de perturbations (interférences) radioélectriques pour la détection des décharges partielles.....	103
Annexe E (informative)	Appareils de mesure de DP	105
Annexe F (informative)	Méthodes non électriques de détection de DP	111
Annexe G (informative)	Perturbations	112
Annexe H (informative)	Évaluation des résultats d'essai de DP lors des essais en tension continue.....	115
Bibliographie.....		117
Figure 1 –	Circuits d'essai fondamentaux pour la mesure des décharges partielles	90
Figure 2 –	Circuit d'essai pour une mesure faite à la prise d'une traversée.....	91
Figure 3 –	Circuit d'essai pour des objets auto-excités	91
Figure 4 –	Connexions pour l'étalonnage du montage d'essai complet	93
Figure 5 –	Relation correcte entre l'amplitude et la fréquence pour minimiser l'erreur d'intégration pour un système de mesure à large bande.....	93
Figure 6 –	Paramètres d'un échelon de tension d'un dispositif d'étalonnage.....	94

Figure A.1 – Etalonnage des calibreurs d'impulsions.....	97
Figure A.2 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant l'intégration numérique.....	98
Figure A.3 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant la méthode de l'échelon de tension	99
Figure A.4 – Impact de la résistance en série R_S sur la réponse de l'échelon de tension apparaissant aux bornes de C_m utilisant le circuit de la Figure A.3, lorsque l'oscilloscope a été connecté au dispositif d'étalonnage via un câble de mesure de $50\ \Omega$ de 1 m de long	99
Figure D.1 – Variation de la lecture $f(N)$ du mesureur de perturbations radioélectriques du CISPR avec la fréquence de répétition N , pour des impulsions constantes.....	104
Figure E.1 – Signaux de tension de sortie U_{out} de deux dispositifs de mesure différents pour la charge apparente (double impulsion).....	107
Figure E.2 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP analogique équipé d'un intégrateur électronique	108
Figure E.3 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP numérique	109
Figure E.4 – Exemple de motif de DP résolu en phase	110
Figure H.1 – Modes d'affichage des impulsions apparentes en fonction du temps de mesure.....	115
Figure H.2 – Histogrammes du nombre m d'impulsions de DP en fonction des intervalles de charge apparente.....	116
Tableau 1 – Réponse des appareils de mesure de DP à un train d'impulsions	73
Tableau 2 – Essais demandés pour les dispositifs d'étalonnage.....	81
Tableau 3 – Essais nécessaires pour les systèmes de mesure	83

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION – MESURES DES DÉCHARGES PARTIELLES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(s) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 60270 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2000-12) [documents 42/162/FDIS et 42/165/RVD] et son corrigendum 1 (2001-10), et son amendement 1 (2015-11) [documents 42/338/FDIS et 42/340/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 60270 a été préparée par le comité d'études 42 de l'IEC: Techniques des essais à haute tension.

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

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B, C, D, E, F et G sont citées seulement pour information.

Les termes définis à l'article 3 et utilisés dans toute cette norme sont en **caractères romains gras**.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement 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. A cette date, la publication sera

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

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.

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION – MESURES DES DÉCHARGES PARTIELLES

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale s'applique à la mesure des **décharges partielles** qui se produisent dans l'appareillage électrique, les composants ou les dispositifs soumis à des essais sous tension alternative à fréquence industrielle jusqu'à 400 Hz ou sous tension continue.

Cette norme:

- définit les termes utilisés;
- définit les grandeurs à mesurer;
- décrit les circuits d'essai et de mesure susceptibles d'être utilisés;
- définit les méthodes de mesure analogiques et numériques nécessaires aux applications courantes;
- spécifie les méthodes d'étalonnage et les exigences relatives aux appareils de mesure utilisés pour l'étalonnage;
- fournit des indications sur les procédures d'essai;
- donne quelques conseils concernant la séparation des **décharges partielles** des perturbations externes.

Il convient d'utiliser les recommandations de cette norme dans les projets de spécifications relatives à la mesure des **décharges partielles** pour des appareillages de puissance spécifiques. Cette norme traite des mesures électriques des **décharges partielles** impulsionnelles (de courte durée), mais aussi des méthodes non électriques, utilisées principalement pour la localisation des **décharges partielles**, voir annexe F.

Les diagnostics concernant le comportement d'appareillages spécifiques de puissance peuvent être facilités par le traitement numérique de données de **décharges partielles** (voir annexe E), mais aussi par des méthodes non électriques, utilisées principalement pour la localisation des **décharges partielles** (voir annexe F).

Cette norme concerne d'abord les mesures électriques de **décharges partielles** effectuées lors des essais sans tension alternative, mais les problèmes particuliers susceptibles de se produire lors d'essais sous tension continue sont traités dans l'article 11.

La terminologie, les définitions, les circuits d'essai de base et les procédures sont souvent utilisés lors d'essais à d'autres fréquences, mais des procédures d'essai et des caractéristiques de systèmes de mesure particulières, qui ne sont pas traitées dans cette norme, peuvent être nécessaires.

L'annexe A donne les exigences normatives relatives aux essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus

récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'IEC et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

CISPR 16-1:1993, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité*

3 Termes et définitions

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

3.1

décharge partielle (DP)

une décharge électrique localisée qui court-circuite partiellement l'intervalle isolant séparant des conducteurs et qui peut être adjacente ou non à un conducteur

NOTE 1 En règle générale, les **décharges partielles** sont une conséquence de concentrations locales de contraintes électriques dans l'isolation ou sur la surface de l'isolation. Généralement de telles décharges apparaissent sous la forme d'impulsions ayant des durées très inférieures à 1 μ s. Toutefois, des décharges à caractère plus continu peuvent aussi survenir, par exemple des décharges de faibles intensités (appelées: «pulse-less») se produisant dans les diélectriques gazeux. Ce type de décharges ne sera normalement pas détecté par les méthodes de mesure décrites dans la présente norme.

NOTE 2 L'«effet couronne» est une forme de **décharge partielle** qui se produit dans les milieux gazeux autour des conducteurs placés loin de toute isolation solide ou liquide. Il convient que ce terme ne soit pas employé comme terme général pour désigner n'importe quel type de **DP**.

NOTE 3 Les **décharges partielles** sont souvent accompagnées d'une émission sonore, de lumière et de chaleur ainsi que de réactions chimiques. Pour obtenir d'autres informations, voir l'annexe F.

3.2

impulsion de décharge partielle (impulsion de la DP)

une impulsion de courant ou de tension qui résulte d'une **décharge partielle** se produisant dans l'objet en l'essai. L'impulsion est mesurée avec des circuits de détection adéquats placés à cet effet dans le circuit d'essai

NOTE Une **décharge partielle** qui se produit dans l'objet en essai génère une impulsion de courant. Un détecteur conforme aux prescriptions de la présente norme fournira en sortie un signal en courant ou en tension proportionnel à la charge de l'impulsion de courant à son entrée.

3.3

grandeurs relatives aux impulsions de décharges partielles

3.3.1

charge apparente q

d'une **impulsion de DP** qui, si elle était injectée en un temps très court entre les bornes de l'objet en essai placé dans un circuit d'essai spécifié, donnerait la même lecture sur le dispositif de mesure que l'**impulsion de DP** elle-même. La **charge apparente** est habituellement exprimée en picocoulombs (pC)

NOTE La **charge apparente** n'est pas égale à la valeur de la charge mise en jeu à l'endroit où la décharge se produit, valeur qui ne peut être mesurée directement.

3.3.2

taux de répétition des impulsions n

le rapport entre le nombre total d'**impulsions de DP** enregistrées pendant un intervalle de temps choisi et la durée de cet intervalle.

NOTE En pratique, on ne considère que les impulsions dépassant une amplitude spécifiée ou comprises entre des limites d'amplitudes spécifiées.

3.3.3

fréquence de répétition des impulsions N

le nombre d'impulsions de **décharges partielles** par seconde, dans le cas d'impulsions régulièrement réparties

NOTE La **fréquence de répétition des impulsions N** est liée aux conditions d'étalonnage.

3.3.4

angle de phase ϕ_i et instant t_i d'occurrence d'une impulsion de DP

l'angle de phase est:

$$\phi_i = 360 (t_i/T)$$

où t_i est le temps mesuré entre l'instant du passage par zéro du front montant de la tension d'essai précédant la décharge et l'instant de **l'impulsion de la décharge partielle**. T est la période de la tension d'essai

L'angle de phase est exprimé en degrés (°).

3.3.5

courant moyen de décharge I

grandeur dérivée qui est la somme des valeurs absolues des amplitudes des **charges apparentes** individuelles q_i , pendant un intervalle de temps de référence choisi $T_{\text{réf}}$, divisée par la durée de cet intervalle:

$$I = \frac{1}{T_{\text{réf}}} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_i|)$$

En général, le **courant moyen de décharge** est exprimé en coulombs par seconde (C/s) ou en ampères (A).

3.3.6

puissance de décharge P

grandeur dérivée qui est la puissance moyenne des impulsions envoyées entre les bornes de l'objet en essai, due aux amplitudes q_i de **charge apparente** pendant un intervalle de temps de référence donné $T_{\text{réf}}$:

$$P = \frac{1}{T_{\text{réf}}} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + \dots + q_i u_i)$$

où $u_1, u_2, \dots, u_i$ sont les valeurs instantanées de la tension d'essai aux instants d'occurrence t_i des décharges individuelles de **charge apparente** q_i . On doit tenir compte du signe des valeurs individuelles

La **puissance de décharge** s'exprime généralement en watts (W).

3.3.7

débit quadratique D

grandeur dérivée qui est la somme des carrés des amplitudes des **charges apparentes** individuelles q_i pendant un intervalle de temps de référence choisi $T_{\text{réf}}$, divisée par la durée de cet intervalle de temps:

$$D = \frac{1}{T_{\text{réf}}} (q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2)$$

Le **débit quadratique** s'exprime généralement en (coulombs)² par seconde (C²/s).

3.3.8

mesureur de perturbations radioélectriques

capteur de mesure quasi-crête pour bande de fréquence B conforme aux recommandations du CISPR 16-1:1993

NOTE Ce type d'appareil était précédemment connu sous la dénomination: mesureur de perturbations radio électriques.

3.3.9

tension de perturbations radioélectriques U_{TPR}

grandeur dérivée qui est la lecture fournie par un **mesureur de perturbations radio-électriques** lorsqu'il est utilisé pour quantifier la **charge apparente q** des décharges partielles. Pour obtenir des renseignements supplémentaires, voir 4.5.6 et l'annexe D

La **tension de perturbations radioélectriques U_{TPR}** est généralement exprimé en μV .

3.4

amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive

la plus grande amplitude enregistrée par un système de mesure ayant une réponse aux trains d'impulsions en accord avec les spécifications de 4.3.3

La notion de **la plus grande décharge partielle répétitive** n'est pas utilisable pour les essais sous tension continue.

3.5

amplitude de décharge partielle spécifiée

la plus grande amplitude d'une grandeur caractérisant les **impulsions de DP** autorisée dans un objet en essai à une tension spécifiée, en appliquant une procédure spécifiée de conditionnement et d'essai. Pour les essais sous tension alternative l'amplitude spécifiée pour la **charge apparente q** est l'**amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive**

NOTE L'amplitude de toute grandeur relative à une **impulsion de DP** peut varier de façon aléatoire lors des périodes successives et, également, montrer une augmentation ou une diminution générale avec le temps d'application de la tension. Il convient que la procédure d'essai, le circuit d'essai, l'instrumentation et l'**amplitude de DP spécifiée** soient donc définis de façon appropriée par les comités d'études concernés.

3.6

bruit de fond

les signaux détectés pendant les essais de DP, qui n'ont pas leur origine dans l'objet en essai

NOTE Le **bruit de fond** peut être composé soit d'un bruit blanc du système de mesure, soit d'émissions radio, ou soit d'autres signaux continus ou impulsionnels, voir annexe G.

3.7

tensions d'essai appliquées relatives aux grandeurs des impulsions de décharges partielles

définies conformément à l'IEC 60060-1 Les niveaux de tensions définis ci-après présentent un intérêt particulier

3.7.1

tension d'apparition des décharges partielles U_i

la tension appliquée à laquelle des **décharges partielles** répétitives sont observées pour la première fois dans l'objet en essai, lorsque la tension appliquée à cet objet est augmentée progressivement à partir d'une valeur basse pour laquelle de telles **décharges partielles** ne sont pas observées

En pratique, la tension d'apparition U_i est la tension appliquée la plus basse pour laquelle l'amplitude d'une grandeur de l'**impulsion de DP** devient égale ou supérieure à une valeur faible spécifiée.

NOTE Pour les essais sous tension continue, la détermination de U_i nécessite une attention particulière. Voir article 11.

3.7.2

tension d'extinction des décharges partielles U_e

la tension appliquée à laquelle des **décharges partielles** répétitives cessent d'être observées dans l'objet en essai, lorsque la tension appliquée à cet objet est réduite progressivement à partir d'une valeur supérieure pour laquelle de telles **impulsions de DP** sont observées

En pratique, la tension d'extinction U_e est la tension appliquée la plus basse à laquelle l'intensité d'une grandeur relative aux **impulsions de DP** devient égale ou inférieure à une valeur faible spécifiée.

NOTE Pour les essais sous tension continue, la détermination de U_e nécessite une attention particulière. Voir article 11.

3.7.3

tension d'essai de décharges partielles

la tension spécifiée, appliquée dans le cadre d'une procédure d'essai spécifiée de **décharge partielle**, pendant laquelle l'objet en essai ne doit pas présenter de DP dont l'amplitude dépasse une valeur de **décharges partielles spécifiée**

3.8

système de mesure de décharges partielles

il comprend un dispositif de couplage, un système de transmission et un instrument de mesure

3.9

caractéristiques des systèmes de mesure

Les définitions suivantes font référence aux systèmes de mesure spécifiés en 4.3

3.9.1

impédance de transfert $Z(f)$

le rapport entre l'amplitude de la tension de sortie et l'amplitude d'un courant d'entrée constant, en fonction de la fréquence f , lorsque le courant d'entrée est sinusoïdal

3.9.2

fréquences limites inférieure et supérieure f_1 et f_2

les fréquences pour lesquelles l'**impédance de transfert $Z(f)$** chute de 6 dB par rapport à la valeur de crête au milieu de la bande passante

3.9.3

fréquence centrale f_m et bande passante Δf

pour tous les types de systèmes de mesure, la **fréquence centrale** est définie par:

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

et la **bande passante** par:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

3.9.4

erreur de superposition

causée par le chevauchement de réponses en sortie impulsionnelles transitoires, lorsque l'intervalle de temps entre les impulsions de courant d'entrée est inférieur à la durée de la réponse en sortie à une impulsion unique. Les **erreurs de superposition** peuvent s'ajouter ou se soustraire en fonction de la **fréquence de répétition des impulsions** d'entrée. Dans la pratique, les deux cas peuvent se produire à cause du caractère aléatoire de la **fréquence de répétition des impulsions**. Toutefois, comme les mesures sont basées sur la **mesure de la plus grande décharge répétitive**, habituellement seules les **erreurs de superposition** positives seront mesurées

NOTE Les **erreurs de superposition** peuvent atteindre 100 % ou plus en fonction du **taux de répétition des impulsions** et des caractéristiques du système de mesure.

3.9.5**temps de résolution des impulsions T_r**

le plus court intervalle de temps entre deux impulsions d'entrée successives de très courte durée, de forme, de polarité et d'amplitude identiques, pour lesquelles les valeurs de crête des réponses ne changent pas de plus de 10 % par rapport à celle à une impulsion unique

Le **temps de résolution des impulsions** est généralement inversement proportionnel à la **bande passante** Δf du système de mesure. C'est une indication de la capacité du système à séparer des DP successives.

NOTE Il est recommandé de mesurer le **temps de résolution des impulsions** pour l'ensemble du circuit d'essai ainsi que pour le système de mesure, car **les erreurs de superposition** peuvent être causées par l'objet en essai, par exemple par des réflexions provenant des extrémités des câbles. Il convient que les comités d'études concernés spécifient la procédure pour maîtriser **les erreurs de superposition** et particulièrement les tolérances admissibles, y compris leurs signes.

3.9.6**erreur d'intégration**

erreur sur la mesure de la **charge apparente** qui se produit lorsque la limite de fréquence supérieure du spectre d'amplitude de l'impulsion de courant de DP est plus petite que:

- la fréquence de coupure haute d'un système de mesure large bande; ou
- la fréquence centrale d'un système de mesure à bande étroite.

Voir figure 5.

NOTE Si nécessaire pour des appareils spéciaux, les comités d'études concernés sont fortement incités à spécifier des valeurs pour f_1 et f_2 plus restrictives pour minimiser l'**erreur d'intégration**.

3.10**appareils de mesure de décharges partielles numériques**

appareils pour effectuer une acquisition numérique et une évaluation des données de DP

Note 1 à l'article: La conversion A/N des impulsions de DP reçues par les bornes de l'objet soumis à essai peut être effectuée soit directement, soit après avoir déterminé les impulsions de charge apparente en utilisant, soit un amplificateur de filtrage passe-bande analogique, soit un intégrateur actif (voir Annexe E).

3.11**coefficient de conversion k**

facteur par lequel il faut multiplier la valeur lue par l'appareil de mesure, pour obtenir la valeur de la grandeur d'entrée (IEC 60060-2:1994, 3.5.1)

3.12**charge apparente accumulée q_a**

somme de la charge apparente q de toutes les impulsions individuelles dépassant un niveau de seuil spécifié et apparaissant pendant un intervalle de temps spécifié Δt

3.13**nombre m d'impulsions de DP**

nombre total d'impulsions de DP dépassant un niveau de seuil spécifié dans un intervalle de temps spécifié Δt

3.14

motif de DP

affichage de la charge apparente q en fonction de l'angle de phase φ_i des impulsions de DP enregistrées pendant un intervalle de temps spécifié Δt

4 Circuits d'essai et systèmes de mesure

4.1 Prescriptions générales

Dans cet article, les circuits d'essai et les systèmes de mesure de base pour la mesure des grandeurs relatives aux **décharges partielles** sont décrits et des informations sur le principe de fonctionnement de ces circuits et de ces systèmes sont fournies. Les circuits d'essai et les systèmes de mesure doivent être étalonnés conformément aux spécifications de l'article 5 et doivent satisfaire aux prescriptions spécifiées par l'article 7. Le comité d'études concerné peut également recommander un circuit d'essai particulier à utiliser pour des objets en essai particuliers. Il est recommandé que le comité d'études utilise comme grandeur à mesurer la **charge apparente** chaque fois que possible, mais d'autres grandeurs peuvent être utilisées dans des situations spécifiques particulières.

Sauf indication contraire du comité d'études concerné, l'un quelconque des circuits mentionnés en 4.2 et l'un quelconque des systèmes de mesure spécifiés en 4.3 sont acceptables. Dans chaque cas, les caractéristiques principales du système de mesure (f_1 , f_2 , T_r , voir 3.9.2 et 3.9.5) utilisé doivent être consignées.

Pour les essais sous tension continue, voir l'article 11.

4.2 Circuits d'essai pour tension alternative

La plupart des circuits utilisés pour la mesure de **décharges partielles** peuvent être dérivés de l'un des circuits de base représentés aux figures 1a à 1d. Des variantes de ces circuits sont représentées aux figures 2 et 3. Chacun de ces circuits comprend principalement:

- un objet en essai qui peut généralement être considéré comme une capacité C_a (voir cependant l'annexe C);
- un condensateur de couplage C_k , qui doit être conçu pour présenter une faible inductance, ou un deuxième objet en essai C_{a1} , semblable à l'objet en essai C_a . Il convient que C_k ou C_{a1} présentent un niveau suffisamment bas de **décharges partielles** à la tension d'essai spécifiée, pour permettre la mesure de l'**amplitude spécifiée de décharges partielles**. Un plus fort niveau de **décharges partielles** peut être toléré si le système de mesure est capable de distinguer les décharges de l'objet en essai de celles du condensateur de couplage et de les mesurer séparément;
- un système de mesure avec son impédance d'entrée (et parfois, dans certaines configurations de circuits en pont, une deuxième impédance d'entrée);
- des connexions haute tension ayant un niveau de **bruit de fond** suffisamment bas (voir aussi articles 9 et 10) pour permettre de mesurer l'**amplitude spécifiée de DP** à la tension spécifiée;
- une impédance ou un filtre peuvent être placés du côté de la haute tension pour réduire le **bruit de fond** provenant de l'alimentation.

NOTE Pour chacun des circuits d'essai de DP de base illustrés aux figures 1 et 3, le dispositif de couplage du système de mesure peut aussi être placé du côté de la borne haute tension, de façon à ce que les positions des dispositifs de couplages par rapport à C_a ou C_k soient permutées; ensuite, des liaisons optiques sont utilisées pour relier le dispositif de couplage à l'appareil de mesure, comme le montre la figure 1a.

D'autres informations ainsi que les caractéristiques particulières des différents circuits d'essai sont traitées dans les annexes B et G.

4.3 Systèmes de mesure de charge apparente

4.3.1 Généralités

Les systèmes de mesure peuvent être séparés en plusieurs sous-ensembles: dispositif de couplage, système de transmission (par exemple câble de liaison ou liaison optique) et appareil de mesure. En général, le système de transmission ne contribue pas aux caractéristiques des circuits et ne sera donc pas pris en compte.

4.3.2 Dispositif de couplage

Le dispositif de couplage fait partie intégrante du système de mesure et du circuit d'essai, ses composants étant spécifiquement conçus pour assurer une sensibilité optimale avec un circuit d'essai spécifique. Différents dispositifs de couplage peuvent donc être utilisés en conjonction avec un seul appareil de mesure.

Le dispositif de couplage est habituellement un réseau actif ou passif à quatre bornes (quadripôle), qui convertit les courants d'entrée en signaux de tension de sortie. Ces signaux sont transmis à l'appareil de mesure au moyen d'un système de transmission. La réponse en fréquence du dispositif de couplage, définie par le rapport entre la tension de sortie et le courant d'entrée, est choisie de manière à empêcher la fréquence d'alimentation et ses harmoniques d'atteindre l'appareil mesureur.

NOTE 1 Bien que la réponse en fréquence d'un dispositif de couplage individuel ne soit pas d'intérêt général, les caractéristiques en amplitude et en fréquence de l'impédance d'entrée sont importantes, car cette impédance interagit avec C_k et C_a et constitue donc une partie essentielle du circuit d'essai.

NOTE 2 Il convient que les câbles de liaison entre le système de couplage et l'objet en essai soient aussi courts que possible afin de réduire les effets sur la bande passante de détection.

4.3.3 Réponse des appareils de mesure de la charge apparente à un train d'impulsions

A condition que l'amplitude du spectre de fréquence des impulsions à l'entrée soit constante au moins à l'intérieur de la **bande passante** Δf du système de mesure, voir figure 5, la réponse de l'appareil est une impulsion de tension dont la valeur de crête est proportionnelle à la charge (unipolaire) de l'impulsion d'entrée. La forme, la durée et la valeur de crête de cette impulsion de sortie sont déterminées par l'**impédance de transfert $Z(f)$** du système de mesure. Par conséquent, la forme et la durée de l'impulsion de sortie peuvent être complètement différentes de celles du signal d'entrée.

L'affichage de la tension de sortie des impulsions individuelles sur l'écran d'un oscilloscope peut faciliter la reconnaissance du type de **décharges partielles** et permettre de les distinguer des perturbations (voir article 10). Il convient que les impulsions de tension soient affichées soit sur une base de temps linéaire déclenchée par la tension d'essai, soit sur une base de temps sinusoïdale synchronisée sur la fréquence de la tension d'essai, soit sur une base de temps ellipsoïdale parcourue en synchronisme avec la fréquence de la tension d'essai.

En outre, il est recommandé qu'un appareil indicateur ou enregistreur soit utilisé pour quantifier l'**amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive**. Il convient que la lecture de tels appareils, quand ils sont utilisés sous tension alternative, soit réalisée grâce à un circuit analogique de détection de crête ou à une détection numérique par programme avec une constante de temps de charge très courte, et une constante de temps de décharge inférieure à 0,44 s. Quel que soit le type d'affichage utilisé par de tels appareils, les prescriptions suivantes s'appliquent:

La réponse du système à un train d'impulsions de courant équidistantes, de même durée, d'amplitudes égales q_0 et dont la **fréquence de répétition N** doit être telle que la lecture R affichée par l'appareil indique des amplitudes conformes au tableau suivant. La gamme et le gain de l'appareil seront réglés de façon que, si $N = 100$, la lecture se fasse à pleine échelle ou 100 %. Le dispositif d'étalonnage utilisé pour générer ces impulsions doit être en accord avec les prescriptions de l'article 5.

Tableau 1 – Réponse des appareils de mesure de DP à un train d'impulsions

N (1/s):	1	2	5	10	50	≥ 100
$R_{\min}$ (%):	35	55	76	85	94	95
$R_{\max}$ (%):	45	65	86	95	104	105

NOTE 1 Cette caractéristique est indispensable pour établir la cohérence entre les mesures effectuées avec différents types d'appareils. Les prescriptions doivent être satisfaites sur toutes les gammes. Les appareils déjà en service à la date de l'établissement de cette norme ne sont pas soumis à ces prescriptions, néanmoins il convient de donner les valeurs réelles de $R(N)$.

NOTE 2 La grandeur mesurée peut être indiquée par des appareils à aiguille, des affichages numériques ou des oscilloscopes.

NOTE 3 La réponse spécifiée peut être obtenue par un traitement du signal aussi bien analogique que numérique.

NOTE 4 La réponse à un train d'impulsions définie dans ce paragraphe n'est pas appropriée aux essais sous tension continue.

NOTE 5 Le comité d'études concerné peut spécifier une réponse différente adaptée à un type d'appareillage particulier.

4.3.4 Appareils de mesure de DP à large bande

Utilisé avec un dispositif de couplage, un appareil de ce type constitue un système de mesure de DP à large bande, caractérisé par une **impédance de transfert** $Z(f)$ ayant des valeurs fixes de **fréquences limites inférieure et supérieure** f_1 et f_2 , et une atténuation adéquate en dessous de f_1 et au-dessus de f_2 . Les valeurs recommandées pour les paramètres de fréquence significatifs f_1 , f_2 et Δf sont les suivantes:

$$30 \text{ kHz} \leq f_1 \leq 100 \text{ kHz};$$

$$f_2 \leq 1 \text{ MHz};$$

$$100 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 900 \text{ kHz}.$$

NOTE 1 La combinaison de différents dispositifs de couplage avec l'appareil de mesure peut modifier l'**impédance de transfert**. Il convient que la réponse globale respecte toujours les valeurs recommandées.

NOTE 2 Pour les objets soumis à essai avec des enroulements tels que des transformateurs et des machines électriques, la bande de fréquences acquise peut être réduite à quelques centaines de kilohertz et même en dessous. Il convient que la fréquence limite supérieure f_2 à accepter pour ces types d'objets soumis à essai soit spécifiée par le comité d'études approprié.

La réponse de ces appareils à une impulsion de courant (non oscillante) due à une **décharge partielle** est, en général, une oscillation bien amortie. La **charge apparente** q et la polarité de l'impulsion de courant de la DP peuvent être toutes deux déterminées à partir de cette réponse. Le **temps de résolution des impulsions** T_r est petit, et typiquement de 5 μs à 20 μs .

4.3.5 Appareils de mesure de DP à large bande avec intégrateur actif

Ce type d'appareil est constitué d'un amplificateur à très large bande associé à un intégrateur électronique caractérisé par la constante de temps de son circuit intégrateur formé d'une capacité et d'une résistance. La réponse de l'intégrateur à une **impulsion de DP** est un signal de tension augmentant avec la somme instantanée des charges. En supposant que la constante de temps de l'intégrateur soit beaucoup plus grande que la durée de **impulsion de DP**, l'amplitude finale du signal sera proportionnelle à la charge totale. En pratique les constantes de temps typiques sont de l'ordre de 1 μs . Le **temps de résolution des impulsions** pour des **DP** consécutives est inférieur à 10 μs .

NOTE Une valeur correspondant à une **limite supérieure de fréquence** de quelques centaines de kilohertz peut être obtenue avec de tels appareils, calculée à partir de la constante de temps combinée de l'amplificateur et de l'intégrateur actif.

4.3.6 Appareils de mesure de DP à bande étroite

Ces appareils sont caractérisés par une **largeur de bande** étroite Δf et une **fréquence centrale** f_m qui peuvent être choisies dans une large gamme de fréquences, où l'amplitude du spectre de fréquence des impulsions de courant de la décharge est sensiblement constante. Les valeurs recommandées de Δf et f_m sont les suivantes:

$$9 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 30 \text{ kHz};$$

$$50 \text{ kHz} \leq f_m \leq 1 \text{ MHz}.$$

Il est également recommandé que l'**impédance de transfert** $Z(f)$, à des fréquences égales à $f_m \pm \Delta f$ soit de 20 dB inférieure à la valeur de crête de la bande passante.

NOTE 1 Pendant la mesure de la **charge apparente**, l'utilisation de fréquences centrales $f_m > 1 \text{ MHz}$ n'est recommandée que si les lectures pour ces valeurs élevées ne diffèrent pas de celles que l'on obtiendrait avec les valeurs recommandées de f_m .

NOTE 2 En général, de tels appareils sont utilisés avec des dispositifs de couplage, présentant des caractéristiques d'un filtre passe haut dans la gamme de fréquences de l'appareil. Si des dispositifs de couplage résonants sont utilisés, f_m est accordée et fixée à la fréquence de résonance du dispositif de couplage et du circuit d'essai de façon à fournir un **facteur d'échelle** constant pour le circuit.

NOTE 3 Les **mesureurs de perturbations radioélectriques** ayant des réponses quasi crête ne sont pas qualifiés selon cette norme pour la mesure de la **charge apparente** q , mais ils peuvent être utilisés pour la détection des DP.

La réponse de ces appareils à une impulsion de courant de **décharge partielle** est une oscillation transitoire dont les enveloppes des valeurs de crête positive et négative sont proportionnelles à la **charge apparente**, indépendamment de la polarité de cette charge. La **résolution temporelle de l'impulsion** T_r sera grande, typiquement supérieure à 80 μs .

4.4 Prescriptions pour les mesures effectuées avec des appareils numériques de DP

L'exigence minimale pour un **appareil de mesure numérique** est:

- d'afficher la valeur de l'**amplitude de la plus grande décharge partielle répétitive**. L'appareil doit être conforme aux prescriptions de 4.3.3.

En complément, une ou plusieurs des grandeurs suivantes peuvent être évaluées et enregistrées:

- la **charge apparente** q_i se produisant à l'instant t_i ;
- la valeur instantanée de la tension d'essai u_i mesurée à l'instant t_i de la décharge de **charge apparente** q_i ;
- l'**angle de phase** ϕ_i à l'instant de l'**impulsion de la DP**.

4.4.1 Prescriptions pour la mesure de la charge apparente q

Le temps entre deux rafraîchissements de l'affichage numérique ne doit pas être supérieur à 1 s.

Normalement, la réponse de l'appareil doit inclure le bruit sous la forme soit d'un niveau continu soit d'une ligne de base. L'origine du bruit peut être soit un **bruit de fond** soit des **décharges partielles** nombreuses dont l'amplitude est faible comparée au niveau maximal à mesurer. C'est pourquoi un seuil de sensibilité dans les deux polarités peut être introduit pour éviter que de tels signaux ne soient enregistrés. Si un seuil est utilisé, son niveau doit être indiqué.

Des indications concernant l'acquisition numérique de mesures analogiques sont données dans l'annexe E.

4.4.2 Exigences pour la mesure de la phase et de l'amplitude de la tension d'essai

Si l'appareil numérique est censé être capable d'enregistrer la valeur de la tension à fréquence industrielle de l'essai, il doit se conformer aux prescriptions de l'IEC 60060-2, 1994.

Si l'appareil numérique est censé être capable de mesurer la phase de la tension de l'essai, il est nécessaire de montrer que le déphasage de la lecture diffère de moins de 5 degrés de la vraie valeur.

4.5 Systèmes de mesure pour les grandeurs dérivées

4.5.1 Dispositifs de couplage

Les recommandations de 4.3.2 sont aussi valables pour les systèmes de mesure des grandeurs dérivées.

4.5.2 Appareils de mesure du taux de répétition des impulsions n

Un appareil pour la détermination du **taux de répétition** doit avoir un **temps de résolution des impulsions** T_r suffisamment court pour traiter le **taux de répétition** le plus élevé nécessaire. Des sélecteurs d'amplitude, qui suppriment les impulsions en dessous d'un certain seuil d'amplitude réglable et prédéterminé, peuvent être nécessaires pour éviter de compter des signaux non significatifs. Plusieurs niveaux de seuils de déclenchement peuvent être utiles pour caractériser les DP, par exemple lors des essais sous tension continue.

Il est recommandé que l'entrée du compteur soit reliée à la sortie d'un système de mesure de DP tel que défini en 4.3. Si un compteur d'impulsions est utilisé avec le système de mesure de DP et que les réponses sont oscillantes ou bidirectionnelles, une mise en forme appropriée de ces impulsions doit être faite pour éviter de compter plusieurs fois chaque impulsion.

4.5.3 Appareils de mesure du courant de décharge moyen I

En principe, les appareils qui mesurent la valeur moyenne des impulsions de courant de décharge après amplification linéaire et redressement, indiqueront, après un étalonnage approprié, le **courant de décharge moyen** I . Des erreurs peuvent être introduites dans les mesures par:

- saturation de l'amplificateur pour des **impulsions** à faible **taux de répétition** n ;
- des impulsions séparées par un temps inférieur au **temps de résolution des impulsions** T_r du système;
- de faibles décharges partielles inférieures au seuil de détection de l'équipement d'acquisition numérique.

Il convient que de telles sources d'erreur soient prises en compte dans l'évaluation des mesures.

Le **courant moyen de décharge** peut également être calculé par un traitement numérique.

NOTE Il peut y avoir saturation lorsque le **taux de répétition** n est si faible que le **courant moyen de décharge** I est difficile à détecter. Dans de tels cas, on peut être tenté d'augmenter le gain de l'amplificateur de l'appareil de mesure des DP de façon significative (accroissant en même temps le **coefficient de conversion**), jusqu'à ce que le courant soit détectable. Cela peut conduire à la situation où la dynamique de l'amplificateur devient telle qu'elle ne permette plus une réponse linéaire aux impulsions DP occasionnelles. Pour éviter cette situation, l'appareil de mesure des DP peut être soit muni de circuits d'alarme pour déceler toute opération non linéaire, soit la sortie de l'appareil peut être surveillée visuellement (sur un oscilloscope par exemple) pendant la mesure du **courant moyen de décharge**.

4.5.4 Appareils de mesure de la puissance de décharge P

Différents types de circuits d'essai et de mesureurs analogiques peuvent servir à la mesure de la **puissance de décharge**. Ils sont généralement basés sur l'évaluation de la somme $\sum q_i u_i$, grandeur qui peut être mesurée par l'aire de la courbe obtenue sur un écran

d'oscilloscope si l'on applique sur les voies x-y les grandeurs $\int q_i$ et $u(t)$ respectivement, ou en utilisant des techniques plus sophistiquées. L'étalonnage de tels circuits d'essai et de tels appareils repose sur la détermination des **facteurs d'échelle** pour la tension appliquée et pour la **charge apparente**.

La **puissance de décharge** peut aussi être calculée par traitement numérique.

4.5.5 Appareils de mesure du débit quadratique D

Des appareils qui mesurent la moyenne des carrés des amplitudes individuelles q_i des **charges apparentes** indiqueront le **débit quadratique D** . Il convient que la conception de tels appareils soit basée sur les caractéristiques identiques à celles applicables à la mesure de la **charge apparente**.

Le **débit quadratique** peut aussi être calculé par traitement numérique.

4.5.6 Appareils de mesure de la tension de perturbation radioélectrique

Les **mesureurs de perturbations radioélectriques** sont des voltmètres sélectifs en fréquence. A l'origine, ces appareils ont été conçus pour mesurer les interférences ou les perturbations causées aux signaux de transmission radio. Bien que ces mesureurs n'indiquent directement aucune des grandeurs définies dans la présente norme, ils peuvent donner une bonne indication de l'**amplitude de la charge apparente q** , si on les utilise avec un dispositif de couplage ayant des caractéristiques passe haut adéquates et si un étalonnage est effectué conformément à l'article 5.

A cause du circuit de mesure quasi crête de cet appareil, la lecture est sensible au **taux de répétition des impulsions n** des impulsions de décharge. Pour obtenir des renseignements supplémentaires, voir l'annexe D.

4.6 Appareils à bande passante ultra large pour la détection des DP

Les **décharges partielles** peuvent aussi être détectées par des oscilloscopes dont les **bandes passantes** sont très larges, ou encore par des appareils accordés en fréquence (par exemple, des analyseurs de spectre) reliés à des dispositifs de couplage appropriés. L'objectif de cette application est de mesurer et de quantifier la forme ou le spectre de fréquence des impulsions de courant ou de tension des **décharges partielles** dans des équipements à paramètres répartis, par exemple des câbles, des machines tournantes ou des postes à enveloppes métalliques, ou de fournir des informations sur la physique ou l'origine du phénomène de décharge.

Aucune recommandation n'est donnée dans la présente norme en ce qui concerne les méthodes de mesure ou la bande passante des appareils à utiliser pour ce type de recherches, étant donné que, généralement, ces méthodes ou appareils ne permettent pas de quantifier directement la **charge apparente** des impulsions de courant des DP.

5 Etalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet

5.1 Généralités

Le but de l'étalonnage est de vérifier que le système de mesure est apte à mesurer correctement l'**amplitude de DP spécifiée**.

L'étalonnage du système de mesure, dans le circuit complet, est effectué pour déterminer le **coefficient de conversion k** à utiliser pour la mesure de la **charge apparente**. Comme la capacité C_a de l'objet en essai influe sur les caractéristiques du circuit, un étalonnage doit être effectué pour chaque nouvel objet, sauf si les essais sont effectués sur une série d'objets similaires dont les capacités ne s'écartent pas de plus de 10 % de la valeur moyenne.

L'étalonnage du système de mesure, avec l'objet en essai dans le circuit complet est effectué en injectant une impulsion de courant de courte durée de charge connue q_0 , aux bornes de l'objet en essai, voir figure 4. La valeur de q_0 doit être considérée comme étant celle obtenue par l'essai de détermination des caractéristiques du dispositif d'étalonnage, voir 7.2.3.

5.2 Procédure d'étalonnage

Il convient que l'étalonnage des systèmes de mesure en vue de la mesure de la **charge apparente q** soit fait en injectant des impulsions de courant à l'aide d'un dispositif d'étalonnage, défini en 6.2, entre les extrémités de l'objet comme indiqué à la figure 4. Il convient que l'étalonnage soit effectué pour une amplitude située dans la gamme d'amplitude utile, pour assurer une bonne précision de l'**amplitude de DP spécifiée**.

Il convient que la gamme d'amplitude utile, en l'absence d'autres spécifications, soit comprise entre 50 % et 200 % de l'**amplitude de DP spécifiée**.

Comme la capacité C_0 du dispositif d'étalonnage est souvent une capacité basse tension, l'étalonnage de l'ensemble complet est effectué avec l'objet en essai hors tension. Pour que l'étalonnage demeure correct, il convient que la capacité d'étalonnage C_0 ne soit pas plus grande que $0,1 C_a$. Si les exigences pour le dispositif d'étalonnage sont remplies, l'impulsion d'étalonnage est équivalente à une décharge unique d'amplitude $q_0 = U_0 C_0$.

Ceci implique de retirer C_0 avant d'appliquer la tension sur l'objet en essai. Si, par contre, C_0 est une capacité haute tension et présente un **bruit de fond** suffisamment faible (voir aussi les articles 9 et 10) pour permettre de mesurer le niveau de DP spécifié à la tension d'essai spécifiée, elle peut être conservée dans le circuit d'essai.

NOTE 1 L'exigence que la capacité C_0 soit inférieure à $0,1 C_a$ n'est pas requise si C_0 est une capacité haute tension et qu'elle est conservée dans le circuit d'essai.

Dans le cas d'objets de grandes dimensions de plusieurs mètres de hauteur, il convient que la capacité d'injection C_0 soit placée près de l'extrémité haute tension de l'objet en essai car la capacité parasite C_s (indiquée sur les figures 4a et 4b) peut introduire une erreur inacceptable.

Il convient que le câble de liaison entre le générateur d'échelons et la capacité C_0 soit blindé et muni d'adaptations appropriées afin d'éviter toute distorsion de l'échelon de tension.

NOTE 2 Pour des objets de grande taille soumis à essai, les conducteurs de connexion entre le dispositif d'étalonnage et les bornes de l'objet soumis à essai peuvent dépasser plusieurs mètres. Ainsi, le transfert de la charge du dispositif d'étalonnage vers l'objet soumis à essai peut être réduit en raison des capacités parasites inévitables. Il convient que l'incertitude de mesure acceptable dans ces conditions soit spécifiée par le comité d'études approprié.

6 Dispositifs d'étalonnage

6.1 Généralités

Les impulsions de courant sont généralement fournies par un dispositif d'étalonnage qui comprend un générateur délivrant des échelons de tension d'amplitude U_0 , en série avec une capacité C_0 , ainsi les impulsions d'étalonnage sont des charges répétitives d'amplitude:

$$q_0 = U_0 C_0$$

En pratique, il n'est pas possible d'obtenir des échelons de tension idéaux. Bien que d'autres formes d'onde avec des temps de montée t_r plus longs (de 10 % à 90 % de la valeur de crête) et des temps de descente non infinis t_d (de 90 % à 10 % de la valeur de crête) puissent injecter sensiblement la même charge, les réponses fournies par différents dispositifs de mesure ou circuits d'essai peuvent être différentes en raison de l'**erreur d'intégration** causée par l'augmentation de la durée de telles impulsions de courant d'étalonnage.

Les paramètres caractérisant un échelon de tension unipolaire d'amplitude U_0 doivent satisfaire aux conditions suivantes (voir Figure 6):

Temps de montée:	$t_r \leq 60 \text{ ns}$
Temps jusqu'au régime établi:	$t_s \leq 200 \text{ ns}$
Durée d'un échelon de tension	$t_d \geq 5 \text{ } \mu\text{s}$
Écart d'amplitude d'échelon de tension U_0 entre t_s et t_d	$\Delta U \leq 0,03 U_0$

Les paramètres de temps t_r , t_s et t_d sont mesurés depuis l'origine t_0 de l'échelon de tension qui se réfère à l'instant où la tension croissante est égale à 10 % de U_0 (voir Figure 6).

Le temps jusqu'au régime établi t_s est l'instant le plus court auquel l'écart de ΔU par rapport à U_0 reste inférieur à 3 % pour la première fois.

La durée de l'échelon de tension t_d est l'instant après t_s auquel l'amplitude de l'échelon de tension diminue en dessous de 97 % de U_0 . Après t_d , la tension doit diminuer de façon continue jusqu'à 10 % de U_0 dans un intervalle de temps supérieur ou égal à 500 μs .

L'amplitude U_0 de l'échelon de tension est la valeur moyenne apparaissant au cours de la durée du régime établi $t_d - t_s$.

Pour des objets soumis à essai représentés par une capacité localisée C_a , le condensateur d'étalonnage C_0 doit satisfaire aux conditions suivantes $C_0 \leq 200 \text{ pF}$ et $C_0 \leq 0,01 C_a$.

Pour les objets soumis à essai représentés par une impédance caractéristique Z_c , tels que des câbles d'alimentation dont la longueur dépasse 200 m, la valeur du condensateur d'étalonnage doit satisfaire aux conditions suivantes $C_0 \leq 1 \text{ nF}$ et $C_0 \times Z_c \leq 30 \text{ ns}$.

Pour les dispositifs d'étalonnage fabriqués avant la publication du présent amendement, dont les paramètres de temps et de tension ne sont pas conformes aux valeurs spécifiées ci-dessus, l'écart des valeurs mesurées par rapport aux valeurs spécifiées doit être mentionné dans le protocole d'essai.

NOTE 1 Pour les appareils à bande large dont la fréquence limite haute est supérieure à 500 kHz, la prescription $t_r < 0,03/f_2$ doit être remplie pour avoir un spectre de fréquence sensiblement constant comme indiqué sur la figure 5.

Les impulsions d'étalonnage peuvent être générées soit sous la forme d'une série d'impulsions de tension (unipolaires ou bipolaires) caractérisée par un front de montée rapide (comme défini ci-dessus) et avec un temps de décroissance lent, soit sous la forme de trains d'impulsions rectangulaires qui sont effectivement différenciés par la capacité d'étalonnage C_0 . Pour le premier cas, le temps de décroissance t_d de l'impulsion de tension doit être grand par rapport à $1/f_1$ du système de mesure. Pour le deuxième cas, il convient que la tension U_0 ne varie pas de plus de 5 % entre deux impulsions. Pour les deux cas, il convient que l'intervalle de temps séparant deux impulsions soit plus long que le **temps de résolution**. Pour les systèmes bipolaires, l'amplitude des impulsions des deux polarités doit être la même à 5 % près.

Pour les injections d'impulsion de courant dans des objets à constantes réparties comme par exemple les postes à enveloppes métalliques, C_0 peut être une capacité connue placée entre le conducteur haute tension et l'électrode du capteur connecté à la source de tension d'étalonnage (voir figure 4c).

NOTE 2 Les dispositifs d'étalonnage conformes à cet article peuvent être utilisés pour l'étalonnage de systèmes de mesure de la **charge apparente** aussi bien que pour des systèmes de mesure des grandeurs dérivées.

6.2 Dispositif d'étalonnage pour étalonnage du système de mesure dans le circuit d'essai complet

Les dispositifs d'étalonnage peuvent délivrer des impulsions de courant unipolaires ou bipolaires. Le **taux de répétition des impulsions N** peut être fixe (par exemple deux fois la fréquence de la tension d'essai) ou variable (pourvu que le temps séparant deux impulsions soit supérieur au **temps de résolution des impulsions**). De tels dispositifs d'étalonnage sont utilisables pour l'étalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet pour déterminer le **coefficient de conversion du système de mesure de DP**.

NOTE 1 Le **facteur d'échelle** est généralement déterminé pour une intensité comprise entre 50 % et 200 % de l'**amplitude de DP** spécifiée.

NOTE 2 L'étalonnage du système de mesure peut être vérifié indirectement en injectant une impulsion d'étalonnage dans la haute tension du circuit d'essai (souvent à l'entrée du dispositif de couplage) mais pas aux extrémités de l'objet en essai. Cette méthode ne constitue pas à elle seule un étalonnage, mais si elle est utilisée conjointement avec un étalonnage du système de mesure dans un circuit d'essai complet (voir article 5), cette technique peut être utilisée comme une référence de transfert pour simplifier les procédures d'étalonnages. Il convient que le dispositif d'étalonnage utilisé soit conforme aux recommandations de cette norme.

6.3 Dispositifs d'étalonnage pour essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesure

Pour vérifier les caractéristiques complémentaires du circuit d'essai et du système de mesure, un dispositif d'étalonnage plus sophistiqué ou même une procédure d'étalonnage sont recommandés. Pour des essais de détermination des caractéristiques, les caractéristiques suivantes sont recommandées pour le dispositif d'étalonnage utilisé:

- une charge d'amplitude q_0 , variable par échelon ou de façon continue, pour déterminer la linéarité du **coefficient de conversion k** . Il convient que la variation soit obtenue en faisant varier la valeur de l'échelon de tension. Il convient que la linéarité du dispositif d'étalonnage soit comprise entre ± 5 % ou ± 1 pC, selon la plus grande des valeurs;
- un temps variable entre deux impulsions consécutives de même polarité pour vérifier le **temps de résolution des impulsions T_r** du système de mesure seul et le **temps de résolution des impulsions** du circuit complet;
- les deux sorties du dispositif d'étalonnage flottantes, c'est-à-dire les sorties à potentiel non fixé;
- pour les dispositifs d'étalonnage fonctionnant sur batterie, il convient qu'un indicateur d'état de la batterie soit fourni;
- des impulsions bipolaires pour détecter une variation de l'amplitude de la **charge apparente** en fonction de la polarité des impulsions de courant de DP;
- une série d'impulsions d'étalonnage de nombre connu ayant des amplitudes égales et de **fréquence de répétition N** , pour vérifier les **appareils de mesure de décharges partielles numériques**.

7 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage et des systèmes de mesure

Des essais de détermination et de contrôle des caractéristiques sont effectués pour établir et maintenir les caractéristiques des systèmes de mesure.

Des essais de détermination et de contrôle des caractéristiques sont aussi effectués pour établir et maintenir les caractéristiques des dispositifs d'étalonnage.

En général, les fabricants de dispositifs d'étalonnage dédiés à l'étalonnage des grandeurs liées aux **décharges partielles** fournissent des spécifications et des recommandations pour effectuer la maintenance périodique destinée à vérifier le dispositif d'étalonnage.

Indépendamment de ces spécifications des fabricants, les procédures suivantes doivent être suivies. Les résultats des essais et des vérifications doivent être consignés dans le recueil de caractéristiques.

7.1 Echancier des essais

La vérification des systèmes de mesure et des dispositifs d'étalonnage est effectuée une seule fois comme essais de réception. Les essais de détermination des caractéristiques sont effectués périodiquement ou après chaque réparation majeure et au moins tous les cinq ans. Les essais de contrôle des caractéristiques sont effectués périodiquement au moins une fois par an.

Les essais de réception peuvent comprendre des essais de type et des essais de routine. Cet échancier est en accord avec les recommandations de l'IEC 60060-2.

7.2 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage

7.2.1 Essais de type des dispositifs d'étalonnage

Des essais de type sur les dispositifs d'étalonnage doivent être effectués sur un dispositif d'étalonnage de chaque série. Ces essais de type doivent être effectués par le fabricant du dispositif d'étalonnage. Si les résultats de l'essai de type ne sont pas disponibles auprès du fabricant, l'utilisateur doit effectuer les essais pour vérifier son équipement.

L'essai de type doit comprendre tous les essais demandés dans les essais de détermination des caractéristiques.

7.2.2 Essais de routine des dispositifs d'étalonnage

Les essais de routine sur les dispositifs d'étalonnage doivent être effectués sur chaque dispositif d'une série. Ces essais de routine doivent être effectués par le fabricant du dispositif d'étalonnage. Si les résultats de l'essai de routine ne sont pas disponibles auprès du fabricant, l'utilisateur doit effectuer des essais pour vérifier son équipement.

L'essai de routine doit comprendre tous les essais demandés dans les essais de détermination des caractéristiques.

7.2.3 Essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage

La précision des mesures de DP dépend de la précision des dispositifs d'étalonnage. C'est pourquoi il est recommandé que le premier essai de détermination des caractéristiques du dispositif dont l'acceptation est recherchée soit enregistré par l'organisme national des normes.

Les essais de détermination des caractéristiques suivants doivent être effectués:

- détermination de la charge q_0 délivrée par le dispositif d'étalonnage sur toutes les gammes nominales. Il convient d'établir que l'incertitude de cette détermination soit comprise entre $\pm 5\%$ ou ± 1 pC selon la plus grande de ces valeurs. C'est la valeur réelle de la charge du dispositif qui doit être employée quand on utilise le dispositif d'étalonnage;
- détermination du temps de montée t_r de l'échelon de tension U_0 , avec une incertitude de $\pm 10\%$;
- détermination de la **fréquence de répétition N** à l'aide d'un compteur d'impulsion avec une incertitude de $\pm 1\%$; cette exigence ne s'applique qu'à des dispositifs d'étalonnage destinés à l'étalonnage des lectures du **taux de répétition des impulsions n** .

L'annexe A décrit une procédure convenant à l'exécution de ces essais relatifs à q_0 et à t_r . On peut aussi utiliser d'autres procédures si leur applicabilité est confirmée par des essais.

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

7.2.4 Essais de contrôle des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage

Les essais de contrôle des caractéristiques suivants doivent être effectués:

- détermination de la charge q_0 délivrée par le dispositif d'étalonnage sur toutes les gammes nominales. Il convient d'établir que l'incertitude sur cette détermination de la charge par rapport à la valeur nominale soit comprise entre $\pm 5 \%$ ou ± 1 pC, selon la plus grande de ces valeurs;

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

Tableau 2 – Essais demandés pour les dispositifs d'étalonnage

Type d'essai	Méthode d'essai de référence	Classification des essais			
		Essai de type	Essai de routine	Essai de détermination des caractéristiques	Essai de vérification des caractéristiques
Mesure de q_0	7.2.3	X	X	X	X
Mesure de t_r	7.2.3	X	X	X	
Mesure de N	7.2.3	X	X	X	

7.2.5 Recueil de caractéristiques

Le recueil de caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage doit comprendre les informations suivantes:

- a) Caractéristiques nominales
 - 1) Identification (numéro de série, type, etc.)
 - 2) Etendue des conditions d'utilisation
 - 3) Etendue des conditions de référence
 - 4) Temps de chauffe
 - 5) Gamme de charge délivrée
 - 6) Tension d'alimentation
- b) Résultats des essais de type
- c) Résultats des essais de routine
- d) Résultats des essais de détermination des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de détermination des caractéristiques
- e) Résultats des essais de contrôle des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de contrôle des caractéristiques
 - 2) Résultats – acceptation ou refus (si refus, enregistrement des actions correctives)

7.3 Maintien des caractéristiques des systèmes de mesure

En général, les fabricants de systèmes de mesure destinés à la mesure des grandeurs liées aux **décharges partielles**, comme spécifié en 3.3, fournissent des spécifications et des recommandations pour effectuer la maintenance périodique destinée au contrôle des caractéristiques de l'appareil ou du système de mesure.

Indépendamment des spécifications des fabricants, les procédures suivantes doivent être appliquées. Les résultats des vérifications doivent être consignés dans le recueil de caractéristiques.

7.3.1 Essais de type des systèmes de mesure de DP

Les essais de type des systèmes de mesure des DP doivent être effectués sur un système de mesure de chaque série. Ces essais de type doivent être effectués par le fabricant du

système de mesure. Si les résultats ne sont pas disponibles auprès du constructeur, l'utilisateur doit effectuer les essais pour vérifier l'équipement.

Les essais de type des systèmes de mesure de DP doivent au moins comprendre:

- la détermination de l'**impédance de transfert $Z(f)$** et des **fréquences limites inférieure et supérieure f_1 et f_2** du système de mesure sur une gamme de fréquences pour laquelle elle a chuté de 20 dB par rapport à la valeur maximale dans la bande passante. Il convient que la grandeur d'entrée soit un courant sinusoïdal de fréquence variable;
- la détermination du **coefficient de conversion k** du système de mesure pour des impulsions d'étalonnage d'au moins trois amplitudes de charge différentes allant de 100 % à 10 % de la gamme complète, avec un **taux de répétition des impulsions n** faible (environ 100/s) sur chaque gamme d'amplitude. La variation de k doit être inférieure à ± 5 % pour démontrer la linéarité du système de mesure;
- la détermination du **temps de résolution des impulsions T_r** du système de mesure en appliquant des impulsions d'étalonnage de charge constante séparées par des d'intervalles de temps entre impulsions consécutives décroissants. Le **temps de résolution des impulsions** doit être déterminé pour tous les systèmes de couplage devant être utilisés avec l'appareil, avec les valeurs de capacités minimum et maximum prévues pour chaque dispositif de couplage;
- la vérification que les variations de lecture de la **charge apparente q** en fonction de la **fréquence de répétition N** des impulsions d'étalonnage sont en accord avec les valeurs proposées en 4.3.3 pour les essais sous tension alternative.

7.3.2 Essais de routine des systèmes de mesure

Les essais de routine des systèmes de mesure doivent être effectués sur chaque appareil d'une série. Ces essais de type doivent être effectués par le fabricant du système de mesure. Si les résultats ne sont pas disponibles auprès du constructeur, l'utilisateur doit effectuer les essais pour vérifier l'équipement.

Les essais de routine doivent comprendre tous les essais demandés pour les essais de détermination des caractéristiques.

7.3.3 Essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures

Les essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures doivent comprendre:

- la détermination de l'**impédance de transfert $Z(f)$** et des **fréquences limites inférieure et supérieure f_1 et f_2** du système de mesure sur une gamme de fréquences pour laquelle elle a chuté de 20 dB par rapport à la valeur maximale dans la bande passante. Il convient que la grandeur d'entrée soit un courant sinusoïdal de fréquence variable;
- la linéarité du système de mesure doit être déterminée en appliquant le signal délivré par le dispositif d'étalonnage de DP variable à l'entrée du système de mesure. Il convient que la linéarité du **coefficient de conversion k** soit vérifiée à partir de 50 % de la plus petite **amplitude de DP spécifiée** à mesurer jusqu'à 200 % de la plus grande **amplitude de DP spécifiée** à mesurer. La variation de k doit rester inférieure à ± 5 % pour démontrer la linéarité du système de mesure.

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

7.3.4 Contrôle des caractéristiques des systèmes de mesures

- La détermination de l'**impédance de transfert $Z(f)$** du système de mesure pour une fréquence dans la bande passante est requise. Il convient de vérifier que la valeur n'a pas changé de plus de 10 % par rapport à l'essai de détermination des caractéristiques précédent. Il convient que la grandeur d'entrée soit un courant sinusoïdal de fréquence variable.

Les résultats de tous les essais doivent être conservés dans un recueil de caractéristiques créé et tenu à jour par l'utilisateur.

Tableau 3 – Essais nécessaires pour les systèmes de mesure

Type d'essai	Méthode d'essai de référence	Classification des essais			
		Essai de type	Essai de routine	Essai de détermination des caractéristiques	Essai de contrôle des caractéristiques
Détermination de $Z(f)$	7.3.1	X	X	X	
Détermination de $Z(f)$ à une fréquence	7.3.4				X
Détermination de k	7.3.1	X			
Détermination de T_r	7.3.1	X			
Réponse à un train d'impulsions	4.3.3	X			
Linéarité	7.3.1	X			
Linéarité	7.3.2		X	X	

7.3.5 Contrôle des possibilités supplémentaires des systèmes de mesures numériques

Les stipulations pour les systèmes de mesures analogiques doivent être applicables aux systèmes de mesures numériques, mais comme les systèmes numériques offrent des possibilités supplémentaires pour enregistrer de nombreuses valeurs liées aux **décharges partielles**, il convient que leur aptitude soit démontrée de façon quantitative par des essais supplémentaires.

Comme les procédures complètes d'étalonnage pour les appareils de mesures numériques de DP dépendent des possibilités spécifiques des appareils qui peuvent être très différentes, les procédures supplémentaires d'étalonnage suivantes sont, au minimum, spécifiées:

- Pour vérifier l'étendue de la gamme dans laquelle les systèmes d'acquisition numérique peuvent enregistrer correctement les impulsions d'entrée indépendamment de leur fréquence, le dispositif d'étalonnage doit pouvoir délivrer pendant un intervalle de temps donné un nombre d'impulsions connu (par exemple 10^4) avec une **fréquence de répétition des impulsions** réglable. La **fréquence de répétition des impulsions** du dispositif d'étalonnage doit être augmentée par échelons adéquats depuis les basses valeurs (par exemple 100 Hz) jusqu'aux plus grandes valeurs qui ne devraient pas dépasser les limites imposées par le **temps de résolution des impulsions** du système de mesure utilisé. Pour chaque valeur de **fréquence de répétition des impulsions**, le nombre d'impulsions mesurées pendant l'intervalle de temps considéré ne doit pas différer de ± 2 % par rapport au nombre connu d'impulsions d'étalonnage appliqué.
- Pour vérifier l'étendue de mesure dans laquelle le système d'acquisition est capable de saisir tous les événements liés aux DP, le dispositif d'étalonnage doit être utilisé avec une **fréquence de répétitions** constante et bien connue (par exemple 100 Hz) et le nombre d'événements enregistrés doit être comparé au nombre d'impulsions d'étalonnage délivré par le dispositif d'étalonnage pendant le temps maximum d'enregistrement pour lequel l'appareil numérique a été conçu. Un écart maximum de ± 2 % entre ces deux valeurs est acceptable.

Voir aussi l'annexe E pour plus de détails.

7.3.6 Recueil de caractéristiques

Le recueil de caractéristiques d'un système de mesure doit comprendre les informations suivantes:

- a) Caractéristiques nominales
 - 1) Identification (numéro de série, type, etc.)
 - 2) Etendue des conditions d'utilisation
 - 3) Etendue des conditions de référence
 - 4) Temps de chauffe
 - 5) Gamme de mesure de la quantité de charge
 - 6) Tension d'alimentation
- b) Résultats des essais de type
- c) Résultats des essais de routine
- d) Résultats des essais de détermination des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de détermination des caractéristiques
- e) Résultats des essais de contrôle des caractéristiques
 - 1) Date et heure de chaque essai de contrôle des caractéristiques
 - 2) Résultats – acceptation ou refus (si refus, enregistrement des actions correctives)

8 Essais

Le présent article liste les prescriptions relatives à l'objet en essai et à la tension d'essai. Dans le cas de conditions d'essai et de méthodes d'essai particulières, des prescriptions supplémentaires peuvent être spécifiées par le comité d'études concerné. Il convient que le comité spécifie également l'amplitude minimale mesurable demandée. Des informations sur les limites pratiques de l'amplitude minimale mesurable sont données dans l'annexe G. Dans le cas d'essais sous tension continue, voir l'article 11. Le comité d'études peut aussi recommander de mesurer une grandeur liée aux décharges autre que la **charge apparente**.

NOTE Quelques recommandations pour la mesure des **décharges partielles** dans les câbles, les postes à enveloppe métallique, les condensateurs de puissance et dans les objets comportant des enroulements se trouvent dans l'annexe C.

8.1 Prescriptions générales

Pour obtenir des résultats reproductibles lors des essais de **décharges partielles**, il est nécessaire de contrôler soigneusement tous les facteurs importants. Avant tout essai, le **système de mesure de décharges partielles** doit être étalonné en accord avec les dispositions de l'article 5.

8.2 Conditionnement de l'objet en essai

Avant d'être essayé, il convient qu'un objet soit soumis aux procédures de conditionnement spécifiées par le comité d'études concerné.

Sauf spécification contraire:

- a) la surface de l'isolation externe des objets en essai doit être propre et sèche, car l'humidité ou la pollution des surfaces isolantes peut être source de **décharges partielles**; et
- b) il convient que l'objet en essai soit à la température ambiante pendant l'essai.

L'application de contraintes mécaniques, thermiques et électriques immédiatement avant l'essai peut influencer le résultat des essais de **décharges partielles**. Pour assurer la

reproductibilité, il peut être nécessaire de ménager un temps de repos entre l'application des contraintes précédentes et l'essai de **décharges partielles**.

8.3 Choix des procédures d'essai

Il est de la responsabilité du comité d'études concerné de spécifier les procédures à utiliser pour certains types d'essais et pour certains objets en essai. Celles-ci définiront tout processus de conditionnement préliminaire, les niveaux et la fréquence de la tension d'essai, la vitesse de croissance et de décroissance de la tension appliquée, les séquences et les durées d'application de la tension, ainsi que l'interaction entre les essais de mesure des **décharges partielles** et les autres essais diélectriques.

Pour faciliter la préparation de ces spécifications d'essai, des exemples de procédures d'essai applicables sous tension alternative sont donnés en 8.3.1 et 8.3.2.

8.3.1 Détermination des tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles

Une tension très inférieure à la valeur de la tension d'apparition supposée doit être appliquée à l'objet en essai et progressivement élevée, jusqu'à ce que les décharges atteignent ou dépassent une valeur spécifiée faible. La tension d'essai pour cette amplitude spécifiée est la **tension d'apparition des décharges partielles** U_i . La tension est alors augmentée jusqu'au niveau de la tension d'essai spécifiée, puis elle est réduite progressivement à une valeur à laquelle les décharges deviennent inférieures à cette même amplitude spécifiée. La tension d'essai correspondant à cette limite est la **tension d'extinction des décharges partielles** U_e . Il faut noter que la valeur de U_i peut être influencée par la vitesse de croissance de la tension et que U_e peut être influencée par l'amplitude et la durée d'application de la tension, ainsi que par la vitesse de décroissance de la tension.

NOTE 1 Pour certains types d'isolation, les **décharges partielles** ne se manifestent que de façon intermittente, lorsque la tension est d'abord élevée à U_i , pour d'autres, l'amplitude des décharges augmente rapidement, alors que pour d'autres encore les décharges s'éteignent lorsque la tension U_i est maintenue pendant un certain temps. Il convient donc que le comité d'études concerné spécifie les modalités d'essai appropriées.

En aucun cas, toutefois, la tension appliquée ne doit dépasser la tension de tenue à fréquence industrielle de courte durée assignée de l'appareil en essai.

NOTE 2 Dans le cas d'appareillage haute tension, il existe un risque de dégradation suite à des applications répétées de tensions voisines de la tension de tenue à fréquence industrielle de courte durée assignée.

8.3.2 Détermination de l'amplitude des décharges partielles à une tension d'essai spécifiée

8.3.2.1 Mesure sans précontrainte

L'amplitude des **décharges partielles** exprimée à l'aide de la grandeur spécifiée est mesurée à une tension spécifiée, qui peut être très supérieure à la **tension d'apparition des décharges partielles** présumée. La tension est progressivement augmentée à partir d'une faible valeur jusqu'à la valeur spécifiée, à laquelle elle est maintenue pendant la durée spécifiée. Comme les amplitudes peuvent varier dans le temps, la grandeur spécifiée doit être mesurée à la fin de cette durée.

L'amplitude des **décharges partielles** peut aussi être mesurée et enregistrée pendant la période de croissance ou de décroissance de la tension ou pendant toute la durée de l'essai.

8.3.2.2 Mesure avec précontrainte

L'essai est effectué en augmentant la tension d'essai à partir d'une valeur inférieure à la **tension d'essai de décharge partielle** spécifiée jusqu'à une tension spécifiée supérieure à cette tension. La tension est alors maintenue pendant la durée spécifiée et, ensuite, progressivement réduite jusqu'à la **tension d'essai de décharge partielle** spécifiée.

A ce niveau, la tension est maintenue pendant une durée spécifiée et ensuite la grandeur spécifiée associée aux DP est mesurée pendant un intervalle de temps donné ou pendant toute cette durée.

9 Incertitude de mesure et sensibilité

L'amplitude, la durée et le **taux de répétition des impulsions de DP** peuvent être largement influencés par la durée d'application de la tension. De plus, la mesure de différentes grandeurs relatives aux **impulsions de DP** est affectée habituellement d'incertitudes plus importantes que d'autres types de mesures effectuées lors d'essais haute tension. En conséquence, il est possible qu'il soit difficile de confirmer les résultats des essais de DP en répétant les essais. Il convient que cet aspect soit pris en considération pour la spécification des essais de **décharges partielles** en vue de la réception.

La mesure d'une **charge apparente q** , à l'aide d'un système de mesure en accord avec les prescriptions de cette norme et étalonné en accord avec les prescriptions des articles 5 et 7, sera affectée d'une incertitude de mesure comprise entre $\pm 10\%$ ou ± 1 pC, selon la plus grande de ces valeurs.

Les mesures sont aussi influencées par les perturbations (article 10) ou le **bruit de fond**, qui doit être suffisamment bas pour permettre une mesure suffisamment sensible et précise de **l'amplitude de décharges partielles spécifié**.

L'amplitude minimale des grandeurs relatives aux DP qui peut être mesurée au cours d'un essai donné est donc, généralement, limitée par les perturbations. Bien que celles-ci puissent être éliminées efficacement par des techniques appropriées décrites dans l'annexe G, d'autres limites sont fixées par les niveaux de bruit interne des appareils et des systèmes de mesure, par les dimensions physiques et la configuration du circuit d'essai, ainsi que par les valeurs des paramètres du circuit d'essai.

Une autre limite à la mesure d'une grandeur minimale, relative aux DP, est déterminée par le rapport des capacités C_a/C_k et par les valeurs optimales de l'impédance d'entrée du dispositif de couplage et de son adaptation aux appareils de mesure utilisés. Une sensibilité plus grande de la mesure serait alors obtenue si $C_k \gg C_a$, condition à laquelle il est, en général, peu pratique de satisfaire en raison de l'augmentation de la charge de l'alimentation haute tension. C'est pourquoi la valeur nominale de C_k est limitée dans les essais réels, mais une sensibilité acceptable est habituellement atteinte lorsque C_k est d'environ 1 nF ou plus.

10 Perturbations

Les mesures sont affectées par des perturbations qui doivent être assez faibles pour permettre des mesures de la grandeur de DP suffisamment sensibles et précises. Comme les perturbations peuvent coïncider avec les **impulsions de DP** et comme elles se superposent souvent aux grandeurs mesurées, il convient que le niveau **bruit de fond** soit de préférence inférieur à 50 % de la valeur spécifiée pour l'amplitude des **décharges partielles**, à moins qu'une autre valeur soit déjà prescrite par le comité d'études concerné. Pour les essais de réception et les essais de type des équipements haute tension, le niveau de **bruit de fond** doit être enregistré.

De fortes lectures clairement identifiées comme étant causées par des perturbations extérieures peuvent être négligées.

Le blocage des signaux par des fenêtres temporelles, la discrimination en fonction de la polarité ou d'autres méthodes similaires, peuvent entraîner la perte des signaux de vraies **décharges partielles**, si ces signaux surviennent en même temps que les perturbations ou pendant la partie inhibée de la période. C'est pourquoi il convient que le signal ne soit pas inhibé par la porte pendant plus de 2 % de chaque période de la tension d'essai alternative, et pas plus de 2 % du temps d'essai cumulé dans les essais sous tension continue.

Cependant, si plusieurs sources d'interférence synchrones avec le réseau d'alimentation sont présentes par période, la durée limite de l'interdiction de blocage de la porte peut être portée à 10 % de la période de la tension d'essai alternative. En conséquence, le système de sélection des signaux doit être installé avant d'appliquer la pleine tension d'essai et les réglages ne doivent pas être modifiés pendant la durée de l'essai. Le comité d'études concerné peut décider des limites à utiliser pour le système de blocage des signaux.

NOTE La proximité de gros redresseurs ou inverseurs peut produire un type particulier de perturbations répétitives qui est consécutif aux courants transitoires dans les redresseurs ou inverseurs.

Des informations complémentaires concernant les perturbations et leur élimination sont données dans l'annexe G.

11 Mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue

11.1 Généralités

Les objets en essai à isolation solide ou imprégnée de liquide montrent, lors des essais sous tension continue, des caractéristiques relatives aux **décharges partielles** très différentes de celles qu'ils manifestent lors des essais sous tension alternative. Les différences peuvent être mineures pour les isolations gazeuses.

Quelques-unes de ces différences sont résumées ci-dessous:

- le **taux de répétition des impulsions de décharges** peut être très bas dans le cas d'une tension continue, appliquée à une isolation solide, parce que l'intervalle de temps entre décharges pour chaque site de décharges est déterminé par les constantes de temps de relaxation de l'isolation;
- des décharges nombreuses peuvent se produire lorsque la tension appliquée varie. En particulier, l'inversion de polarité lors de l'essai peut provoquer de nombreuses décharges à basse tension, mais, par la suite, le **taux de répétition des impulsions de décharges** diminuera pour atteindre les conditions de régime permanent;
- dans une isolation liquide, le mouvement du liquide tend à réduire les constantes de temps de sorte que les décharges sont plus fréquentes;
- les caractéristiques des DP de l'objet en essai peuvent être affectées par l'ondulation de la tension d'essai.

NOTE 1 Sous tension continue, l'effet des variations de tension peut être marqué du fait que la distribution des contraintes n'est plus principalement déterminée par la résistivité volumique ou surfacique des matériaux, comme elle le serait sous des conditions de tension stable.

NOTE 2 Il convient que les amplitudes spécifiques, le nombre d'impulsions limites et la durée de l'application de la tension soient fixés par le comité d'études concerné.

11.2 Grandeurs relatives aux DP

Il convient de baser les mesurages de DP en courant continu sur les grandeurs suivantes:

- charge apparente de chaque impulsion de DP individuelle apparaissant pendant un intervalle de temps spécifié Δt_i à une tension d'essai constante, comme défini en 3.3.1 (voir Figure H.1a)).
- charge apparente accumulée d'un train d'impulsions de DP apparaissant dans un intervalle de temps spécifié Δt_i à une tension d'essai constante, comme défini en 3.12 (voir Figure H.1b)).
- nombre m d'impulsions de DP de trains d'impulsions de DP, comme défini en 3.13 dépassant les limites spécifiées de l'amplitude de la charge apparente q_m pendant un intervalle de temps spécifié Δt_i à un niveau constant de tension d'essai (voir Figure H.2a)).
- nombre m d'impulsions de DP apparaissant dans des plages spécifiées de l'amplitude de charge apparente q_m pendant un intervalle de temps spécifié Δt_i à un niveau constant de tension d'essai (voir Figure H.2b)).

Pour déterminer le nombre m d'impulsions de DP, il convient de veiller à ne pas compter les impulsions de bruit pour éviter des statistiques erronées. Ainsi, avant de commencer le mesurage réel des DP, le niveau du bruit de fond en termes de pC doit être déterminé. En se fondant sur celui-ci, le niveau de seuil de charge apparente doit être réglé au moins au double du bruit de fond.

Les valeurs des grandeurs relatives aux DP énumérées ci-dessus doivent être spécifiées par le comité d'études approprié.

11.3 Tensions relatives aux décharges partielles

11.3.1 Tensions d'apparition et d'extinction des décharges

Les tensions d'apparition et d'extinction des **décharges partielles** peuvent être difficiles à déterminer lors des essais sous tension continue car ces phénomènes dépendent de facteurs tels que la répartition de la tension sous tension variable, la température et la pression. Les **décharges partielles** ont plus de chance de se produire au moment de l'application initiale de la tension et pendant les variations de la tension, pour devenir plus intermittentes à mesure que la répartition de la tension devient résistive.

Dans certaines conditions, il est possible que les **décharges partielles** se maintiennent même après suppression de la tension d'essai. Ce phénomène est observable principalement dans les isolations mixtes formées de solides, de liquides et de gaz.

NOTE Dans certains cas, l'application d'une tension continue aux objets en essai possédant une isolation solide va engendrer un processus de conditionnement pour les **décharges partielles**. Ceci est mis en évidence par la fréquence des DP qui augmente et diminue de façon cyclique, pour une tension appliquée constante, jusqu'à ce qu'un état de conditionnement stable soit atteint après un temps long.

11.3.2 Tension d'essai de décharges partielles

Pendant l'application de la **tension d'essai de décharges partielles**, il convient que les grandeurs relatives aux **impulsions de DP** de l'objet en essai ne dépassent pas une amplitude spécifiée. Alors que, pour les tensions alternatives, on ne prend généralement en considération que l'**intensité de la charge apparente**, dans le cas des essais sous tension continue, il convient que le nombre **d'impulsions de DP** supérieures à une amplitude spécifiée ne dépasse pas un total spécifié, pendant un intervalle de temps spécifié sous la tension d'essai. Il convient de noter que des **impulsions DP** isolées de grande amplitude peuvent survenir au cours de l'essai.

11.4 Circuits d'essai et dispositifs de mesure

Pour mesurer la charge apparente conformément à 3.3.1, les circuits de base représentés aux Figures 1a à 1d doivent être utilisés conjointement avec des systèmes de mesure de DP analogiques ou numériques, comme décrit en 4.3 et 4.4 et à l'Annexe E. La réponse à un train d'impulsions des appareils de mesure de DP appliqués doit être indépendante de la fréquence de répétition des impulsions de DP.

Pour indiquer le nombre m d'impulsions de DP, l'application des appareils de mesure de DP numériques avec compteurs d'impulsions intégrés ou des appareils de mesure de DP analogiques associés à des dispositifs appropriés de comptage d'impulsions est recommandée.

Les modes opératoires d'étalonnage recommandés à l'Article 5 et les dispositifs d'étalonnage spécifiés à l'Article 6 peuvent également être appliqués pour l'essai en tension continue.

11.5 Essais

11.5.1 Choix des procédures d'essai

Les procédures décrites dans le cas des essais sous tension alternative pour déterminer les **tensions d'apparition et d'extinction des DP** ne sont généralement pas utilisables lors des essais sous tension continue, car la contrainte appliquée au diélectrique pendant la montée et la descente de la tension est différente de celle qui existe pendant les périodes où la tension est constante.

Il n'existe pas de méthode universellement reconnue pour la mesure des grandeurs relatives aux **décharges partielles** pendant les essais sous tension continue. Quelle que soit la méthode utilisée, il est cependant important de noter que les amplitudes relatives aux **décharges partielles** peuvent être différentes au début de l'application de la tension et après une durée importante sous la même tension d'essai.

11.5.2 Perturbations

Les informations données dans l'article 10 s'appliquent également aux essais sous tension continue. Toutefois, dans ce cas, des perturbations particulières régulièrement répétitives peuvent se produire, liées aux commutations de courant dans les redresseurs de la source de tension continue.

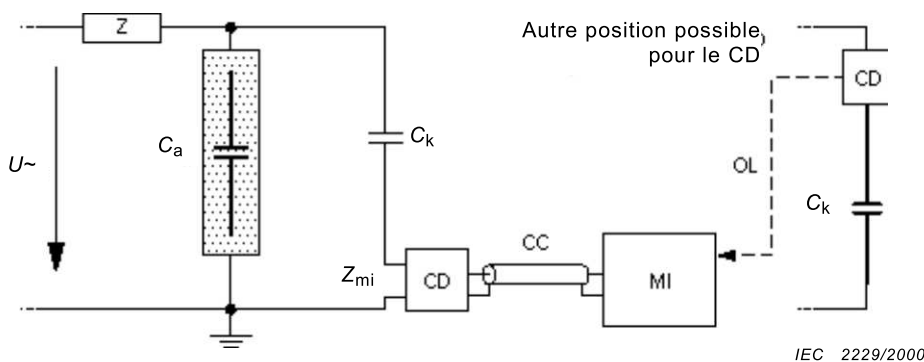


Figure 1a – Dispositif de couplage CD en série avec le condensateur de couplage

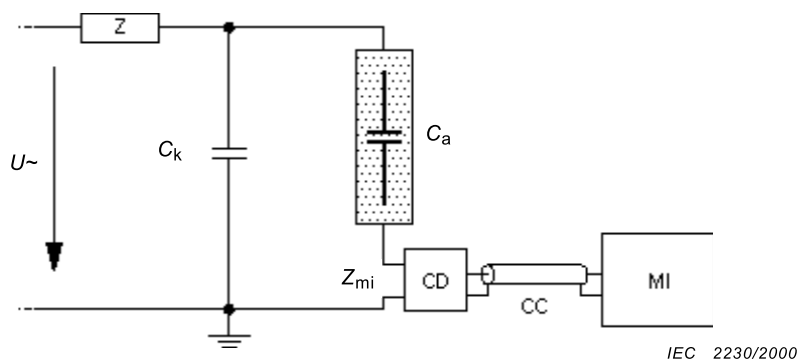


Figure 1b – Dispositif de couplage CD en série avec l'objet en essai

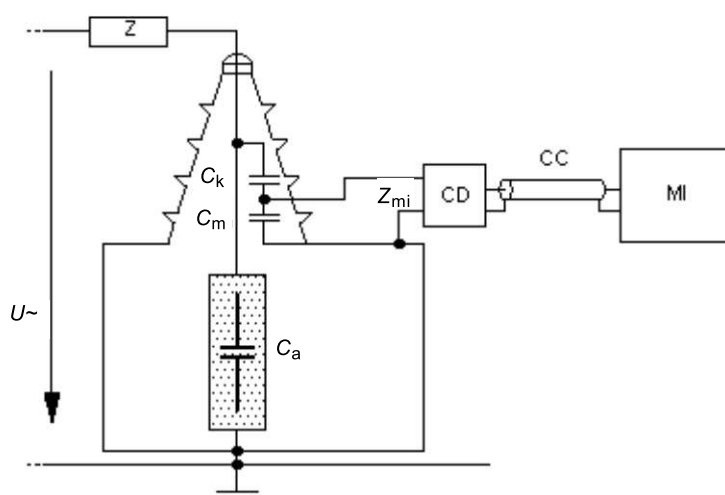
Composants

- $U_{\sim}$ source haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- OL lien optique
- C_a objet en essai
- C_k condensateur de couplage
- CD dispositif de couplage
- MI appareil mesureur
- Z filtre



U_{-}	source haute tension
Z_{mi}	impédance d'entrée du dispositif de mesure
CC	câble de liaison
OL	lien optique
C_a	objet en essai
C_k	condensateur de couplage
CD	dispositif de couplage
MI	appareil mesureur
Z	filtre

Figure 1 – Circuits d'essai fondamentaux pour la mesure des décharges partielles

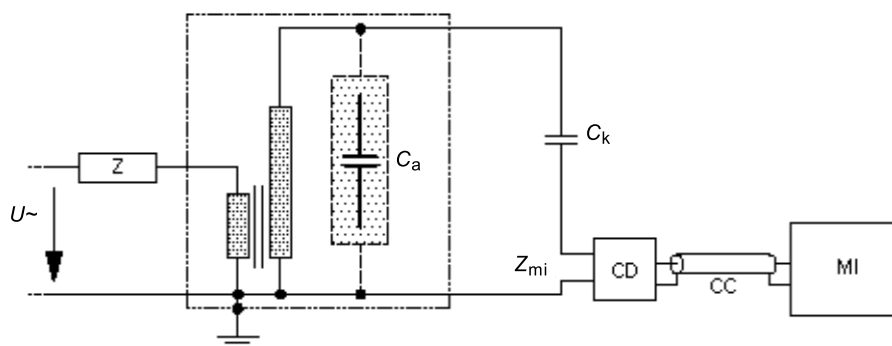


IEC 2233/2000

Composants

- $U_{\sim}$ source basse ou haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- C_k condensateur de couplage
- C_m capacité en parallèle à Z_{mi}
- CD dispositif de couplage
- C_a objet en essai
- MI appareil mesureur
- Z filtre

Figure 2 – Circuit d'essai pour une mesure faite à la prise d'une traversée

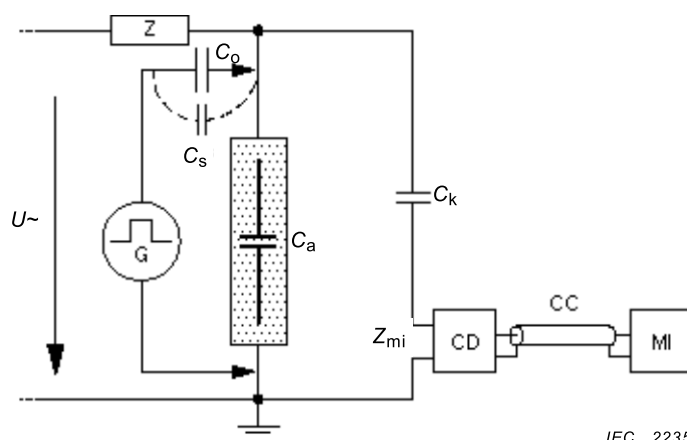


IEC 2234/2000

Composants

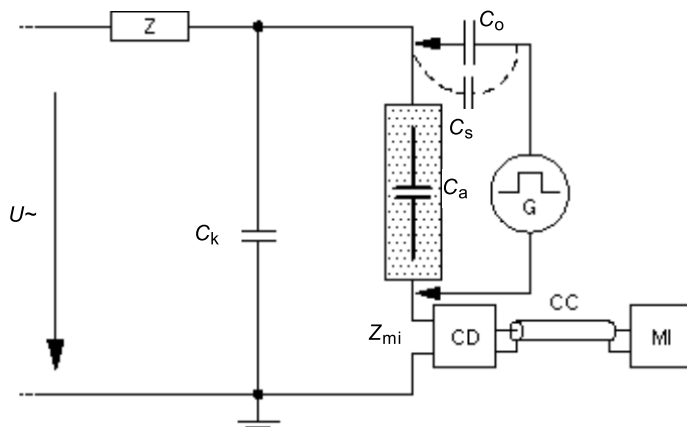
- $U_{\sim}$ source basse ou haute tension
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- C_k condensateur de couplage
- CD dispositif de couplage
- C_a objet en essai
- MI appareil mesureur
- Z filtre

Figure 3 – Circuit d'essai pour des objets auto-excités



IEC 2235/2000

Figure 4a – Dispositif de couplage CD en série avec le condensateur de couplage

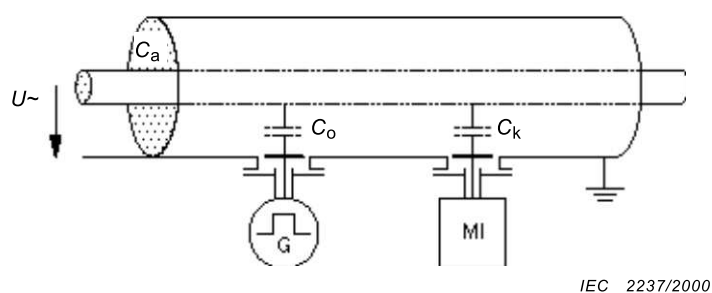


IEC 2236/2000

Figure 4b – Dispositif de couplage CD en série avec l'objet en essai

Composants

- $U_{\sim}$ source haute tension
- G générateur d'échelon
- C_o condensateur d'étalonnage
- Z_{mi} impédance d'entrée du dispositif de mesure
- CC câble de liaison
- C_a objet en essai
- C_k condensateur de couplage
- CD dispositif de couplage
- C_s capacité parasite
- MI appareil mesureur
- Z filtre

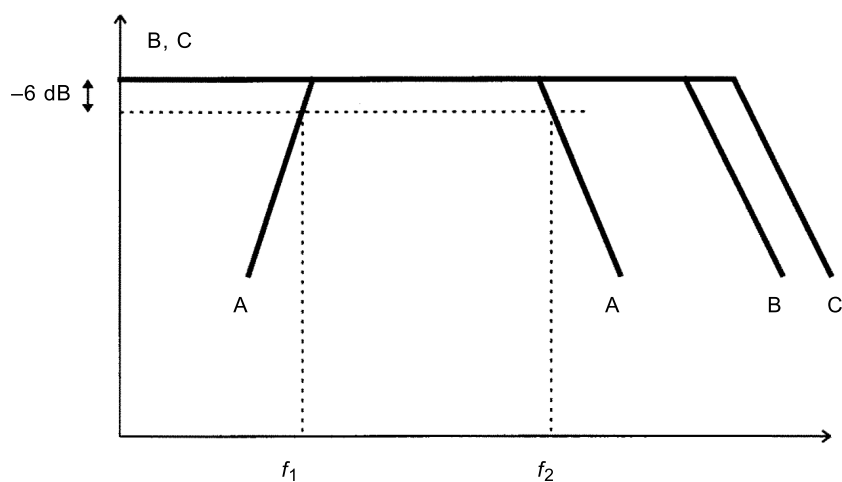


Composants

- $U_{\sim}$ source haute tension
- MI appareil mesureur
- C_a objet en essai
- C_k condensateur de couplage
- C_o condensateur d'étalonnage
- G générateur d'échelon

Figure 4c – Circuit d'essai pour la mesure dans les postes blindés

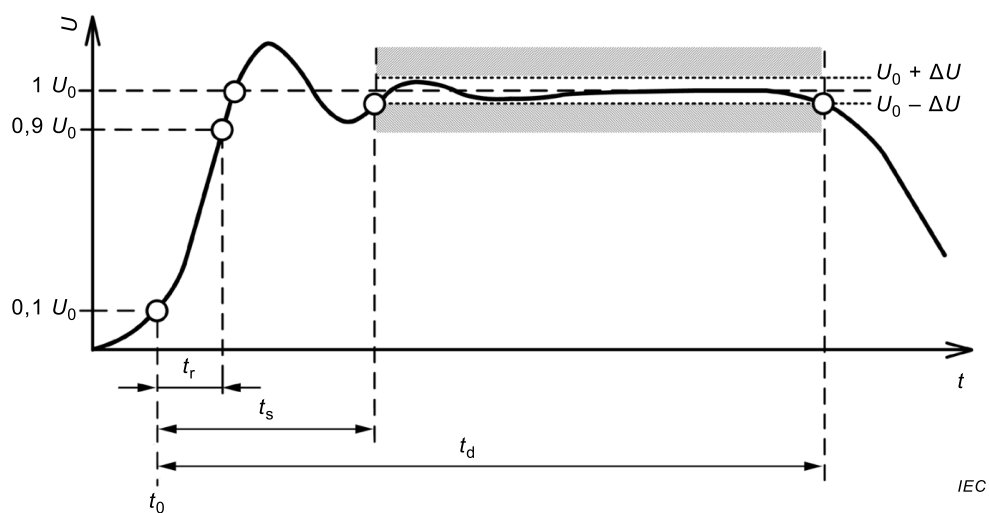
Figure 4 – Connexions pour l'étalonnage du montage d'essai complet



Légende

- A bande passante du système de mesure
- B spectre de fréquence en amplitude de l'impulsion de DP
- C spectre de fréquence en amplitude de l'impulsion de calibration
- f_1 fréquence limite inférieure
- f_2 fréquence limite supérieure

Figure 5 – Relation correcte entre l'amplitude et la fréquence pour minimiser l'erreur d'intégration pour un système de mesure à large bande



Légende

U_0	amplitude de l'échelon de tension	t_d	durée de l'échelon de tension
t_0	origine de l'échelon de tension	$(t_d - t_s)$	durée du régime établi
t_r	temps de montée de l'échelon de tension	ΔU	écart de tension absolu par rapport à U_0
t_s	temps jusqu'au régime établi		

Figure 6 – Paramètres d'un échelon de tension d'un dispositif d'étalonnage

Annexe A (normative)

Essai de détermination des caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage

A.1 Généralités

Les dispositifs d'étalonnage décrits dans l'article 6 servent à évaluer le **coefficient de conversion** k d'un système de mesure, utilisé pour quantifier les grandeurs relatives aux DP. Comme les caractéristiques de ces dispositifs d'étalonnage peuvent varier avec le temps, il convient d'effectuer des contrôles périodiques de ces caractéristiques (temps de montée t_r , précision de la charge spécifiée q) à des intervalles de temps réguliers et après des réparations. Les procédures suivantes peuvent être utilisées pour vérifier les dispositifs d'étalonnage.

A.2 Méthode de référence

La charge produite par le dispositif d'étalonnage doit être comparée à la charge produite par le dispositif d'étalonnage de référence. La charge doit être mesurée avec le même système de mesure dans les deux cas.

La traçabilité du dispositif d'étalonnage aux étalons nationaux doit être assurée.

NOTE Le système de mesure utilisé peut être un système de mesure de DP conforme à cette norme ou un oscilloscope numérique ayant des possibilités d'intégration (voir figure A.1a), ou un dispositif ayant une intégration électronique.

Le résultat de cet essai doit être obtenu en faisant la moyenne d'au moins 10 mesures.

A.3 Méthode d'intégration numérique

Comme le montre la figure A.1a, la sortie du dispositif d'étalonnage en essai étant chargée par une résistance R_m , la tension $u_m(t)$ peut être mesurée à l'aide d'un oscilloscope numérique étalonné ayant une **bande passante**, au moins égale à 50 MHz. Il convient de choisir la valeur de R_m entre 50 Ω et 200 Ω . Les connexions entre le dispositif d'étalonnage et R_m ainsi que celles à l'oscilloscope doivent être courtes. La résistance d'entrée de l'oscilloscope peut contribuer à la valeur de R_m . Le circuit d'essai, y compris la résistance de mesure R_m , doit être tel que les oscillations de la forme d'onde enregistrée aient diminué à moins de 2 % de l'amplitude moyenne de l'échelon pendant le temps nécessaire à l'intégration.

Le résultat de cet essai doit être obtenu en faisant la moyenne d'au moins 10 mesures.

En se référant à la figure A.1a, la charge q délivrée par le dispositif d'étalonnage est

$$q = \int i(t)dt = \frac{1}{R_m} \int u_m(t)dt$$

où

$i(t)$ est l'impulsion de courant délivrée par le dispositif d'étalonnage;

$u_m(t)$ la tension de l'impulsion mesurée par l'oscilloscope.

Toutefois, la précision de la quantification de q est liée à la précision de la méthode d'intégration et à la précision de la valeur de R_m .

Sur la figure A.1b, deux enregistrements typiques de $u_m(t)$ sont fournis, ils correspondent à un dispositif d'étalonnage de valeur $C_0 = 141$ pF, et $R_m = 33 \Omega$ et $R_m = 200 \Omega$ respectivement. A noter que des valeurs trop faibles de R_m peuvent engendrer une impulsion de tension oscillante et conduire à des erreurs d'intégration plus importantes (et ainsi à une incertitude inacceptable).

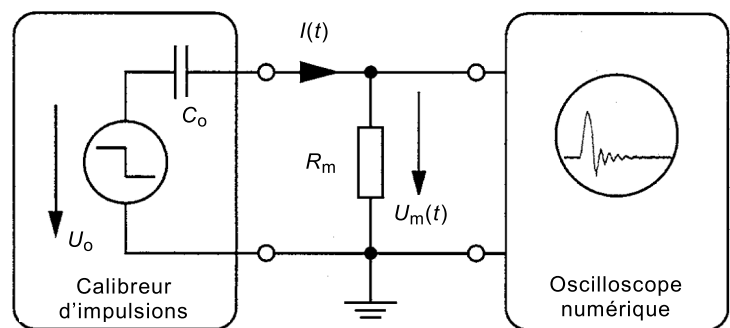
Le temps de montée réel t_r du dispositif d'étalonnage est approximativement égal à la durée de la première oscillation de tension (positive), si $R_m C_0 < t_r$. Cette inégalité est généralement satisfaite pour les faibles valeurs de R_m , si $C_0 \leq 150$ pF.

Pour s'assurer qu'il n'existe pas de trop grande dérive pour la réponse à des échelons rapides, il convient que le convertisseur numérique soit vérifié par des méthodes adaptées, comme par exemple celle décrite en A.2, sur toutes les gammes utilisées. Une réponse qui dérive peut conduire à une grande incertitude sur la charge calculée à l'aide d'un intégrateur numérique.

NOTE L'intégration de $u_m(t)$ peut en général être réalisée par des algorithmes intégrés dans les oscilloscopes numériques dans lesquels $\int u_m(t)dt$ est calculé. Comme la précision de cette procédure d'intégration peut être inconnue, il est proposé d'étalonner l'oscilloscope et l'algorithme utilisé pour le calcul de q en remplaçant le dispositif d'étalonnage en essai par une source de tension échelon d'amplitude U_{ref} placée en série avec une capacité de référence C_{ref} . En conséquence, les impulsions de courant $i(t)$ auront des formes et des charges identiques à celles des impulsions délivrées par le dispositif d'étalonnage en essai. Ainsi:

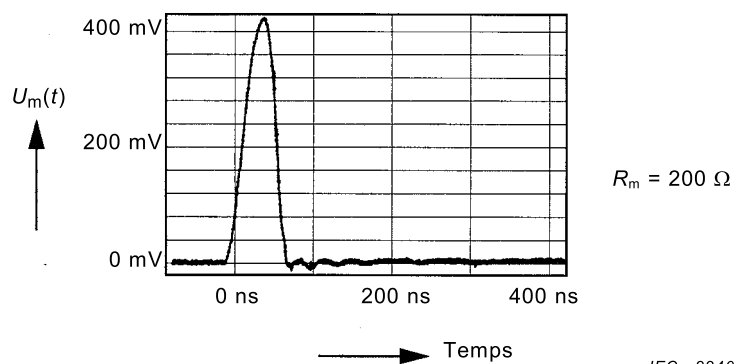
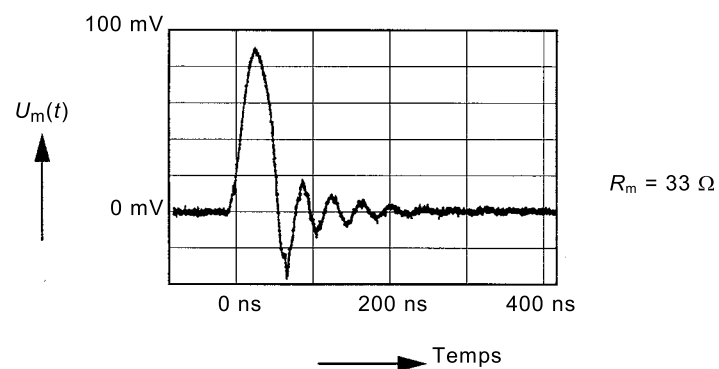
$$q_{ref} = U_{ref} \times C_{ref}$$

cette amplitude de la charge de référence q_{ref} est connue avec une incertitude qui est fixée par l'incertitude sur U_{ref} et C_{ref} uniquement, q_{ref} peut être utilisé pour vérifier la procédure ci-dessus.



IEC 2239/2000

Figure A.1a – Circuit de mesure



IEC 2240/2000

Figure A.1b – Impulsions d'étalonnage $u_m(t)$ d'un calibreur typique relié aux résistances de mesure $R_m = 33 \Omega$ et $R_m = 200 \Omega$ respectivement ($q = 100 \text{ pC}$)

Figure A.1 – Etalonnage des calibreurs d'impulsions

Les paramètres de tension et de temps de l'échelon de tension spécifiés en 6.1 et à la Figure 6 peuvent être déterminés si le courant traversant le condensateur d'étalonnage C_0 provoqué par l'échelon de tension U_0 est mesuré au moyen d'un shunt résistif R_m (voir Figure A.2). Ce shunt peut être par exemple une terminaison de traversée à faible inductance de 50 Ω . Dans ces conditions, la charge d'étalonnage peut être déterminée d'après une intégration numérique du signal de tension dépendant du temps $u_r(t)$ apparaissant aux bornes de R_m . Une attention particulière doit être portée à la tension de décalage qui doit être réglée sur zéro afin d'éviter toute erreur d'intégration.

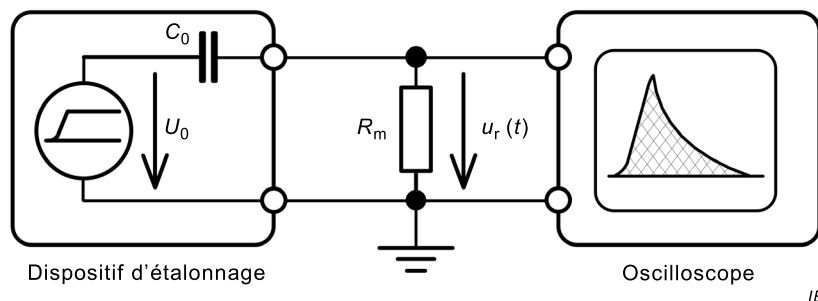


Figure A.2 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant l'intégration numérique

A.4 Méthode de la réponse à l'échelon de tension

La charge q_0 générée par le dispositif d'étalonnage peut également être déterminée en mesurant la tension transitoire apparaissant aux bornes d'un condensateur de mesure C_m à l'aide du circuit représenté à la Figure A.3 et [1]¹. Étant donné que la connexion en série de C_0 avec C_m comprend un diviseur de tension, l'amplitude U_c de la tension dépendant du temps $u_c(t)$ qui se produit aux bornes de C_m en conditions de régime établi est directement proportionnelle à l'amplitude de l'échelon de tension U_0 générée par le dispositif d'étalonnage:

$$U_c = U_0 \times C_0 / (C_0 + C_m)$$

La charge q_c transférée du dispositif d'étalonnage au condensateur de mesure C_m peut ainsi être exprimée par la formule suivante:

$$q_c = q_0 / (1 + C_0/C_m)$$

Avec la condition $C_m \gg C_0$, la charge q_c injectée dans C_m devient égale à cette valeur de charge q_0 créée par le dispositif d'étalonnage:

$$q_0 \approx q_c \approx U_c \times C_m$$

Pour garantir une incertitude de mesure inférieure à 3 %, il convient que la capacité de C_m sélectionnée ne soit pas inférieure à 10 nF. Celle-ci inclut à la fois la capacité du câble de connexion et la capacité d'entrée de l'oscilloscope. Dans ces conditions, une charge d'étalonnage $q_0 = 100$ pC produit une amplitude d'échelon de tension de $U_c \approx 10$ mV qui peut être mesurée avec l'incertitude désirée au moyen d'oscilloscopes numériques disponibles dans le commerce, en particulier si le mode de moyennage est utilisé. Pour des charges d'étalonnage $q_0 < 100$ pC, une intégration active du courant total circulant dans C_0 est recommandée pour améliorer l'amplitude du signal enregistrée par l'oscilloscope et garantir

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

l'incertitude de mesure spécifiée. Pour de plus amples informations à ce sujet, voir la référence [1].

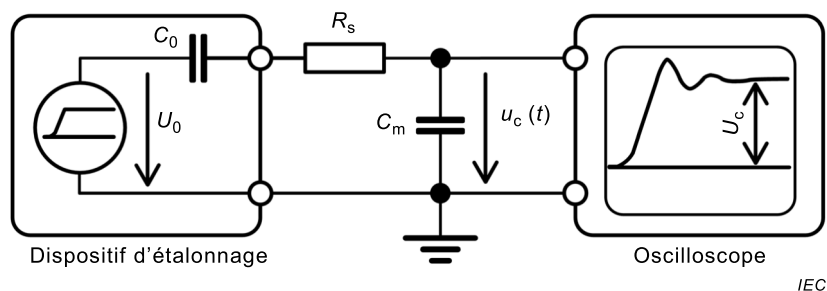
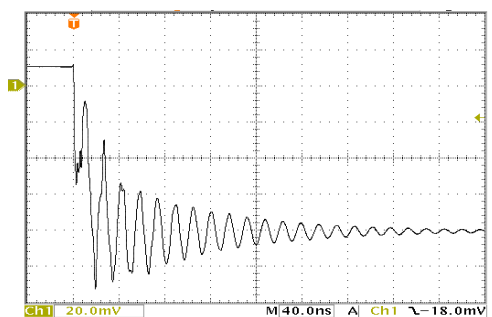


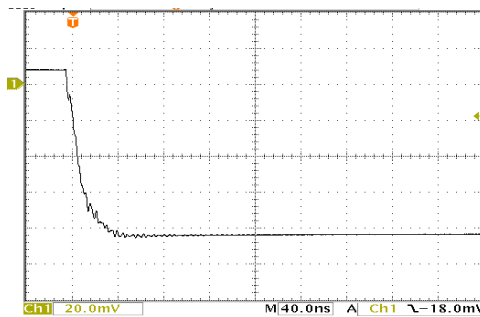
Figure A.3 – Montage pour les essais de performance des dispositifs d'étalonnage utilisant la méthode de l'échelon de tension

Le circuit représenté à la Figure A.3 peut également être utilisé pour déterminer les paramètres de temps significatifs présentés en 6.1 et représentés à la Figure 6. Étant donné que la connexion en série de C_0 avec C_m comprend un diviseur de tension, la tension dépendant du temps $u_c(t)$ apparaissant aux bornes de C_m est directement proportionnelle à la tension dépendant du temps générée par le dispositif d'étalonnage. Pour ces mesures, il convient également de choisir une valeur de C_m de l'ordre de 10 nF, comme cela est recommandé pour déterminer la charge d'étalonnage. De plus, il convient de connecter C_m aussi près que possible de l'entrée de l'oscilloscope. Sinon, des oscillations superposées peuvent être excitées, comme cela est représenté à la Figure A.4. Pour atténuer ces oscillations perturbatrices, il convient de connecter en série une résistance supplémentaire R_s de l'ordre de 100 Ω aussi près que possible de la sortie du dispositif d'étalonnage. De plus, il convient que les conducteurs de la connexion entre le dispositif d'étalonnage et l'oscilloscope ne dépassent pas 1 m de long.



IEC

a) $R_s = 10 \Omega$



IEC

b) $R_s = 100 \Omega$

échelle de tension: 20 mV/div; échelle temporelle: 40 ns/div

Figure A.4 – Impact de la résistance en série R_s sur la réponse de l'échelon de tension apparaissant aux bornes de C_m utilisant le circuit de la Figure A.3, lorsque l'oscilloscope a été connecté au dispositif d'étalonnage via un câble de mesure de 50 Ω de 1 m de long

Annexe B (informative)

Circuits d'essai

A part alimenter l'objet en essai avec la tension d'essai, la raison principale d'un circuit d'essai de **décharges partielles** est de réaliser les conditions nécessaires pour détecter les **décharges partielles** dans l'objet en essai à une **tension spécifiée de décharges partielles**. Ces conditions sont optimum quand les différents composants du circuit d'essai sont coordonnés de façon à ce que les impulsions de courant qui vont résulter des **décharges partielles** aient des amplitudes et des formes les plus favorables à la détection.

Il existe quatre circuits de base dont sont dérivés tous les autres circuits d'essai pour la détection et la mesure des **décharges partielles**. Ces circuits, représentés sur les figures 1a à 1d, sont brièvement décrits ci-dessous.

A noter que pour ces circuits fondamentaux, l'amplitude minimale de toute grandeur relative aux DP pouvant être mesurée dépend du rapport C_k/C_a (voir l'article 9) et est limitée par les perturbations.

Dans le circuit de la figure 1a, le dispositif de couplage est inséré dans la branche de mise à la terre du condensateur de couplage (néanmoins, voir la note de 4.2). Ce montage a l'avantage de permettre l'essai d'objets dont une borne est reliée à la terre, l'objet en essai étant connecté directement entre la source haute tension et la terre. Le filtre ou l'impédance placé entre l'objet en essai et la source haute tension permet d'atténuer les perturbations venant de la source haute tension. Cela augmente également la sensibilité de la mesure en réalisant un blocage des impulsions de courant de DP venant de l'objet en essai et qui sinon seraient partiellement dérivées à travers l'impédance de la source.

Dans le circuit de la figure 1b, le dispositif de couplage est inséré dans la branche de mise à la terre de l'objet en essai. Pour cela, le côté basse tension de l'objet doit être isolé de la terre (néanmoins, voir la note de 4.2).

Il convient qu'un circuit de protection, conçu pour supporter le courant de claquage dans les objets en essai en cas de défaillance, soit incorporé au dispositif de couplage.

Pour des circuits d'essai comportant des capacités de faible valeurs, le circuit de la figure 1b donnera une plus grande sensibilité que celui de la figure 1a.

NOTE Un circuit sans condensateur de couplage réel est parfois utilisé. Il est semblable en principe à celui de la figure 1b, mais le rôle de C_k est joué par les capacités parasites. Un tel montage peut convenir si la capacité de l'objet en essai est petite par rapport à de la capacité parasite par rapport à la terre. Il peut convenir également si la capacité d'entrée du transformateur d'essai est au moins du même ordre de grandeur que C_a ceci en supposant que le filtre est omis.

Le circuit de la figure 1c comprend un circuit en pont équilibré dans lequel le mesureur est branché entre deux dispositifs de couplage. L'objet en essai et le condensateur de couplage doivent avoir, tous les deux, leurs côtés basse tension isolés de la terre (néanmoins, voir la note de 4.2). Il n'est pas nécessaire que leurs capacités soient égales, mais il convient qu'elles soient de préférence du même ordre de grandeur, et pour obtenir les meilleurs résultats, il convient que leurs facteurs de pertes diélectriques soient similaires, en particulier du point de vue de leur variation en fonction de la fréquence. Ce circuit, dont le fonctionnement est basé sur le rejet des courants de mode commun par l'intermédiaire de C_a et de C_{a1} , mais qui amplifie les courants de **décharges partielles** issus de l'objet en essai, a l'avantage de rejeter partiellement les perturbations extérieures. Pour ajuster le taux de réjection, une source de décharges artificielle peut être connectée entre l'extrémité haute tension et la terre.

Les impédances d'entrée variables des dispositifs de couplage équilibré sont ajustées de façon à rendre minimale la valeur indiquée par l'appareil de mesure. On peut obtenir des rapports de réjection d'environ 3 (pour des objets en essai de valeurs très différentes) à 1 000 et même plus (pour des objets en essai de valeurs identiques et parfaitement blindés).

Le circuit présenté sur la figure 1d est une combinaison des deux circuits fondamentaux des figures 1a et 1b. Il comprend deux capacités, dont l'une ou l'autre, ou les deux, peuvent être les objets en essai. Ces capacités sont connectées à deux dispositifs de couplage. Dans le montage présenté, le côté basse tension des deux éléments est isolé de la terre (voir toutefois la note de 4.2). Il n'est pas nécessaire que les deux capacités soient égales, mais il convient qu'elles soient du même ordre de grandeur. Le principe ne repose pas sur un circuit en pont équilibré, mais compare les sens d'écoulement des signaux impulsionnels dans les deux dispositifs de couplage. (Les signaux de mode commun seront détectés comme ayant des polarités identiques; les signaux de **décharges partielles** issus de l'un ou l'autre élément seront détectés comme ayant des polarités opposées). Un système de sélection des signaux peut être utilisé pour discriminer les **impulsions de décharges partielles** provenant de l'objet en essai des perturbations provenant d'autres parties du circuit d'essai.

A partir de ces circuits fondamentaux, de nombreuses variantes peuvent être obtenues. Le montage représenté sur la figure 2, qui s'applique à des objets équipés de traversées à répartition capacitive, est équivalent à celui de la figure 1a, mis à part que la capacité de la traversée remplace le condensateur de couplage C_k . Si la traversée a une prise, le dispositif de couplage y est connecté; dans ce cas, une capacité C_m relativement grande se trouve mise en parallèle avec l'impédance d'entrée du dispositif de couplage ce qui peut affecter la sensibilité de la mesure.

La figure 3 représente un circuit d'essai dans lequel la tension d'essai est induite dans l'objet essayé, par exemple un transformateur de puissance ou un transformateur de mesure. En principe, cette configuration est équivalente à celle indiquée à la figure 1a.

Annexe C (informative)

Mesures sur des câbles, postes à enveloppe métallique, condensateurs de puissance et objets en essai comprenant des enroulements

C.1 Généralités

En principe, l'un quelconque des circuits d'essais décrits à l'annexe B peut être utilisé avec ces objets en essai, c'est-à-dire avec des objets comportant des capacités et des inductances réparties. Pour certains de ces objets, la tension d'essai peut être induite; par exemple, l'enroulement haute tension d'un transformateur peut être excité par l'enroulement basse tension (figure 3).

Une étude détaillée des mesures de **décharges partielles** dans des objets à constantes réparties, dans lesquels on observe des ondes progressives et des phénomènes de couplage capacitif et inductif complexes, n'est pas du domaine de la présente norme. Les points suivants sont, toutefois, d'une grande importance et sont particulièrement portés à l'attention des comités d'études concernés.

C.2 Phénomènes d'atténuation et de distorsion

En raison des phénomènes d'atténuation et de distorsion des ondes progressives dans les enroulements ou à l'intérieur de postes à enveloppe métallique et dans les câbles, l'amplitude de la **charge apparente** relevée à une extrémité de l'objet en essai peut être différente de celle au point où la décharge se produit. Cette différence est généralement corrélée à la caractéristique de bande passante du système de mesure. Il peut être possible d'en évaluer les effets en comparant l'amplitude (et si possible la forme d'onde) de la réponse à une impulsion d'étalonnage lorsqu'elle est injectée à l'autre extrémité de l'objet en essai et lorsqu'elle est injectée à l'extrémité connectée au dispositif de couplage.

C.3 Phénomènes de résonance, réflexions

L'amplitude relevée à une extrémité d'un condensateur de grande puissance, d'un enroulement, d'un poste à enveloppe métallique ou d'un câble en essai peut être modifiée par des phénomènes de résonance ou par des réflexions aux extrémités. Cela est particulièrement important si la bande passante du mesureur utilisé est étroite. Les phénomènes de réflexion (dans les câbles, par exemple) peuvent être pris en compte à l'aide de techniques spéciales d'étalonnage, comme l'utilisation d'un générateur d'impulsions doubles, ou leurs effets néfastes peuvent être éliminés en utilisant des techniques spéciales.

NOTE Lors des mesures de décharges partielles dans des condensateurs de grande puissance il peut y avoir des problèmes pour atteindre la sensibilité de mesure souhaitée.

C.4 Localisation des décharges

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour localiser les **décharges partielles** dans des objets comportant des éléments à constantes réparties. Certaines de ces méthodes sont fondées sur des mesures simultanées effectuées à deux ou plusieurs extrémités de l'objet en essai. Des méthodes non électriques comme celles discutées dans l'annexe F peuvent également être utilisées.

Annexe D (informative)

Utilisation de mesureurs de perturbations (interférences) radioélectriques pour la détection des décharges partielles

Des appareils conformes aux spécifications du Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR) de l'IEC ou d'autres organismes similaires sont d'un usage courant. De tels appareils servent souvent à mesurer des «tensions, courants et champs d'interférences radioélectriques» (voir le CISPR 16-1:1993) sur une large gamme de fréquence, en utilisant différents traitements de la grandeur d'entrée. Dans le cadre de la présente norme, toutefois, l'expression «**mesureur de perturbations radioélectriques**» ne s'applique qu'à un appareil de mesure des perturbations (interférences) radioélectriques spécifique, prévu pour fonctionner dans une bande de fréquences de 150 kHz à 30 MHz (bande B), et qui répond aux exigences d'un récepteur mesurant la valeur quasi-crête.

La réponse de tels **mesureurs de perturbations radioélectriques** à des tensions d'impulsions de très courte durée est, avant tout, parfaitement déterminée par la relation générale bande passante sélectivité, c'est-à-dire par les caractéristiques du filtre passe-bande ayant une **largeur de bande** Δf , qui est indépendante de la **fréquence centrale** f_m . Cette réponse est ensuite pondérée par un circuit de mesure de la valeur quasi-crête, dont la constante de temps de charge est τ_1 et la constante de temps de décharge est τ_2 , et par un voltmètre de sortie qui, pour les appareils conventionnels, est du type à cadre mobile, avec un amortissement critique et possédant une constante de temps mécanique τ_3 . Des équipements plus modernes fournissent des lectures équivalentes à partir de circuits électroniques sophistiqués.

Dans le cas d'une d'entrée constante et purement résistive, les caractéristiques de tels appareils font qu'ils répondent essentiellement à la charge de l'impulsion de courant de très courte durée injectée à l'entrée, dont l'amplitude du spectre de fréquence est constante pour la **fréquence centrale** f_m utilisée pendant la mesure. Cependant, en raison du circuit de mesure de valeur quasi-crête de cet appareil, des impulsions de même charge mais de **taux de répétition** différents, conduiront à des lectures différentes sur l'appareil.

Pour des impulsions de courant d'entrée de très courte durée, régulièrement répétitives et de charge q , l'indication du mesureur U_{TPR} est donnée par:

$$U_{TPR} = \frac{q \times \Delta f \times Z_m \times f(N)}{k_i}$$

où

N est la fréquence de répétition des impulsions;

$f(N)$ est la fonction non linéaire de N (voir la figure D.1);

Δf est la bande passante de l'appareil (à 6 dB);

Z_m est la valeur purement résistive de l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure;

k_i est le **coefficient de conversion** de l'appareil ($= q/U_{TPR}$).

La **fréquence de répétition des impulsions** N n'est pas équivalente au **taux de répétition des impulsions** n .

Un **mesureur de perturbations radioélectriques**, conçu pour être un voltmètre quasi-crête et pour lequel est spécifiée la bande de fréquence B (0,15 MHz à 30 MHz), aura une **bande passante** Δf de 9 kHz à 6 dB et des constantes de temps $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms et $\tau_3 = 160$ ms.

Pour cet appareil, des impulsions courtes et constantes de 0,16 μ Vs appliquées avec une **fréquence de répétition des impulsions** N régulière égale à 100 par seconde donneront la

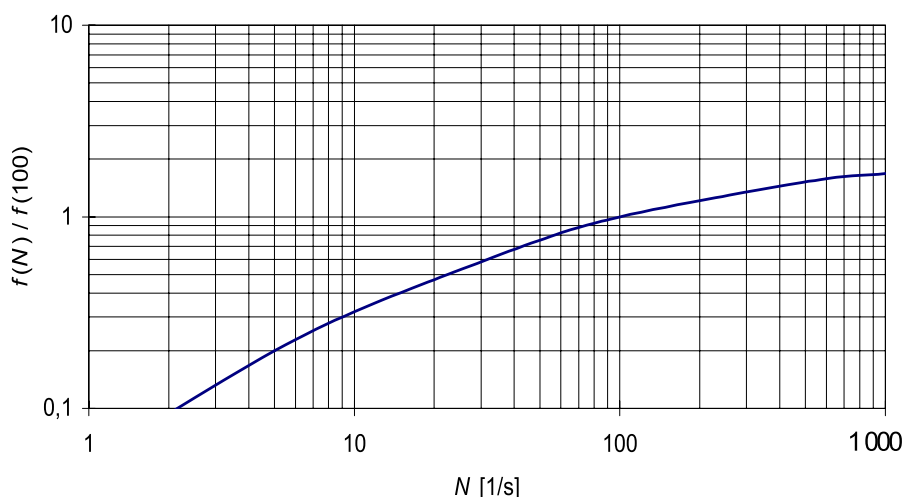
même lecture qu'avec un signal d'entrée sinusoïdal d'une valeur efficace de $1\,000\ \mu\text{V}$ efficaces à la fréquence d'accord. La variation de la lecture de cet appareil avec N est représentée sur la figure D.1. Quantitativement, ces appareils indiquent $1\ \mu\text{V}$ pour $Z_m = 60\ \Omega$, $N = 100$ et $q \approx 3\ \text{pC}$.

NOTE Il n'existe pas de coefficient de conversion généralement applicable entre les lectures des **tensions de parasites radioélectriques**, telles que mesurées à l'aide d'un mesureur quasi-crête, et la **charge apparente**.

Si des **mesureurs de perturbations radioélectriques** de type quasi-crête sont utilisés pour les mesures des DP, un dispositif de couplage, tel que défini en 4.3.2 doit être utilisé avec cet appareil. Il convient donc qu'il soit étalonné et contrôlé dans le circuit d'essai réel, au moyen de dispositifs d'étalonnage de **décharges partielles** conformes à l'article 5. Il est recommandé, à cet effet, d'appliquer des impulsions q_0 , régulièrement espacées, ayant un **taux de répétition N** approximativement égal à deux fois la fréquence de la tension d'essai.

Ceci permettra au mesureur de donner une approximation de la valeur de la **charge apparente** pendant un essai réel au voisinage de la tension d'apparition, lorsque le nombre d'impulsions par période est petit. L'**amplitude de la charge apparente** dans ces conditions est alors obtenue approximativement en multipliant q_0 par le rapport des lectures de l'appareil pendant l'essai et pendant l'étalonnage. Cette relation est encore valable dans une gamme limitée de **taux de répétition des impulsions**, lorsque la variation des lectures dues au facteur $f(N)$ est petite.

Chaque fois que des mesures sont effectuées avec un **mesureur de perturbations radio-électriques**, il convient que le rapport d'essai comprenne les lectures obtenues, en microvolts, et les valeurs de la **charge apparente** équivalentes, en picocoulombs, ainsi que les informations appropriées concernant la détermination du **coefficient de conversion**.



IEC 2241/2000

Figure D.1 – Variation de la lecture $f(N)$ du mesureur de perturbations radioélectriques du CISPR avec la fréquence de répétition N , pour des impulsions constantes

Annexe E (informative)

Appareils de mesure de DP

E.1 Généralités

Pour traiter le signal de DP reçu par les bornes de l'objet soumis à essai au moyen d'un dispositif de couplage, comprenant un condensateur de couplage combiné avec une impédance de mesure, il est possible d'appliquer aussi bien le traitement de signal de DP analogique que le traitement numérique. Les principaux éléments des appareils de mesure de DP analogiques et numériques sont représentés aux Figures E.2 et E.3 respectivement.

Outre les trains d'impulsions de DP, il convient de numériser un signal en courant alternatif issu de la tension d'essai pour permettre l'affichage des motifs de DP caractéristiques résolus en phase, comme représenté à la Figure E.4.

L'objectif principal de l'utilisation des techniques numériques pour les mesures de DP est fondé sur le fait d'enregistrer une **impulsion de DP** quantifiée par au moins sa **charge apparente** q_i et la valeur instantanée de la tension u_i existant à l'instant t_i ou, pour des tensions alternatives, l'angle de phase d'occurrence ϕ_i dans la période de la tension d'essai. Comme, cependant, la qualité des matériels et logiciels utilisés peut limiter la précision et la résolution des mesures de ces paramètres, cette annexe fournit des recommandations qui sont importantes pour détecter et enregistrer les séquences de décharges.

L'objectif principal peut être séparé en deux objectifs secondaires:

- l'enregistrement, le stockage et l'évaluation d'au moins une ou plusieurs grandeurs relatives aux **impulsions de DP**;
- le post traitement des données enregistrées pour évaluer et représenter des paramètres complémentaires et d'autres grandeurs (par exemple des données statistiques à l'intérieur de la fenêtre temporelle ou au cours du temps; applications de techniques numériques pour réduire le niveau de perturbations; présentation des résultats sous la forme de graphiques; évaluation de paramètres, qui peuvent être utilisés pour une analyse plus approfondie de la qualité de l'isolation de l'objet en essai, etc.).

NOTE Les systèmes de mesure numériques sont souvent assistés par ordinateur pour le stockage, ainsi que pour l'évaluation des grandeurs relatives aux **impulsions de DP**.

Ce deuxième objectif secondaire n'est pas traité dans cette norme. Toutefois, l'attention des comités d'études est attirée sur ces possibilités.

Dans le cas de l'analyse du comportement temporel des grandeurs liées aux DP, une compression des données enregistrées peut être effectuée. Pour ce faire, différentes méthodes de réduction peuvent être utilisées. Il convient que les constructeurs de systèmes numériques indiquent, toutefois, les principes utilisés pour la compression des données.

E.2 Instructions pour le traitement des signaux analogiques de la charge apparente

La caractéristique principale d'un **appareil numérique de mesure des DP** est sa capacité à traiter les signaux de réponse individuels des appareils de mesure analogiques de la **charge apparente**. En règle générale, on peut supposer que la valeur de crête de ces signaux de réponse est proportionnelle à la charge individuelle q_i d'une impulsion de courant de DP. Alors que les appareils analogiques affichent ces valeurs de crête en se servant d'oscilloscopes ou de voltmètres de crête, l'appareil numérique doit quantifier et stocker, avec une précision adéquate, les valeurs de crête individuelles q_i (avec leurs polarités, si possible),

ainsi que le temps t_i ou l'angle de phase ϕ_i de l'occurrence. La forme des signaux de réponse est très dépendante des caractéristiques des systèmes de mesure et quelque peu dépendante de la forme de l'impulsion individuelle de courant, la procédure de traitement doit être adaptée à la forme des signaux de réponse, de façon à pouvoir indiquer la valeur crête (positive ou négative) qui est supposée être proportionnelle à la charge individuelle q_i de la DP.

Pour illustrer ce problème, la figure E.1 montre trois signaux de tension de sortie produits par deux **décharges partielles** consécutives. Les figures E.1a et E.1b montrent les signaux de sortie d'un système de mesure type à large bande, dont les caractéristiques de fréquence sont indiquées dans la légende. Le signal de sortie de la figure E.1c est typique d'un système de mesure simple à bande étroite avec $\Delta f \approx 10$ kHz et $f_m \approx 75$ kHz pour lequel la réponse est quasi symétrique par rapport à la ligne de base de la tension. Bien que cependant aucune de ces trois réponses ne soit influencée de façon importante par l'**erreur de superposition**, c'est-à-dire que le temps de résolution T_r est encore adéquat pour les deux appareils, l'évaluation correcte de l'amplitude et de la polarité de la première crête devient difficile, compte tenu de la présence de plusieurs crêtes de polarités différentes. Dans le cas de systèmes à large bande, la première crête sert souvent à déterminer à la fois la **charge apparente** q et la polarité de l'impulsion de courant de la **décharge partielle**. Pour ce qui a trait à la réponse de l'appareil à bande étroite de la figure E.1c, l'information sur la polarité demeure généralement indéterminée, et la plus grande crête de la réponse est la meilleure mesure de q . Cependant, pour les deux systèmes, une seule valeur de crête (ou de q_i) doit être quantifiée et enregistrée comme valeur de la **charge apparente** pendant le **temps de résolution** T_r des impulsions du système de mesure.

Les figures E.1a et E.1b illustrent une difficulté qui se présente parfois avec les systèmes de mesure à large bande: la durée et la forme d'une impulsion de courant de DP, qui sont influencées par le mécanisme de la décharge et par la conception de l'objet en essai, peuvent être telles que la seconde crête du signal de réponse ait une amplitude supérieure à celle de la première crête. Dans de telles situations, il est difficile de reconnaître la polarité et de déterminer l'amplitude de la première crête, ainsi la réponse d'un appareil numérique de mesure des DP d'un fabricant donné dépendra de la conception de son appareil. Il convient que les fabricants de ces appareils précisent donc le principe utilisé pour acquérir, quantifier et enregistrer les intensités et les polarités correctes. Le fabricant doit aussi démontrer les fonctions propres de l'appareil par des procédures d'essai particulières.

E.3 Recommandations pour enregistrer la tension d'essai, l'angle de phase ϕ_i et l'instant t_i d'occurrence d'une impulsion de DP

Pour identifier la forme d'une tension d'essai $u(t)$ à fréquence industrielle, il convient que l'appareil numérique quantifie la tension d'essai au moins pendant les intervalles de temps au cours desquels les valeurs q_i sont enregistrées. Il est toutefois recommandé de faire une quantification continue au cours de chaque période d'application de la tension d'essai.

Comme l'angle de phase ϕ_i ou l'instant t_i des systèmes à tension alternative doivent être quantifiés par rapport au passage par zéro du front montant de la tension d'essai $u(t)$, il est nécessaire que le système de mesure donne une vraie représentation de la phase de la tension d'essai.

Si l'écart de la valeur instantanée de la tension d'essai, lue par l'appareil de mesure numérique de **décharges partielles**, par rapport à la valeur instantanée lue par un système de mesure de référence est inférieur à 5 % de la valeur crête de la tension, l'appareil numérique est habilité à enregistrer la phase de la tension d'essai. Les **coefficients de conversion** appropriés pour les deux systèmes de mesure de tension doivent être appliqués. Le système de mesure de référence doit être composé d'un appareil adéquat connecté à la partie basse tension d'un diviseur de tension conforme à la norme IEC 60060-2, pour la tension alternative. Il est recommandé de montrer de façon indépendante que l'erreur sur la phase du système de mesure est inférieure à 5 degrés.

Pour la quantification de la tension d'essai, une résolution nominale minimale de 8 bits est recommandée. Le fréquence d'échantillonnage f_s de la quantification doit être d'au moins 100 échantillons par période de la tension d'essai à fréquence industrielle, ou de 4 000 échantil-

lons par seconde pour les tensions d'essai continues. Puisqu'un échantillonnage périodique est recommandé, la détermination des valeurs u_i de la tension d'essai qui apparaît à des instants précis t_i entre les échantillons peut être obtenue par interpolation.

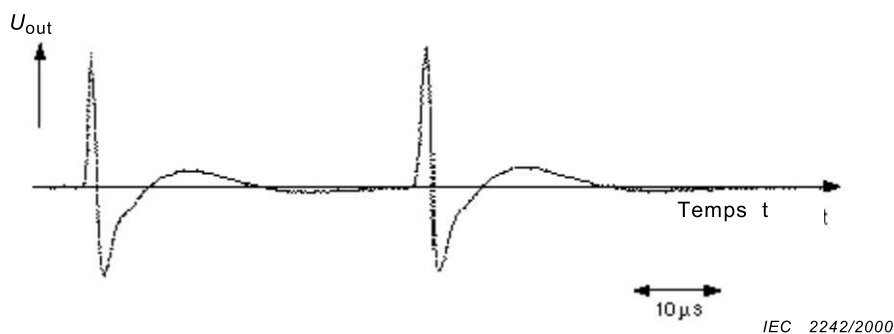


Figure E.1a – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, impulsion d'entrée de courte durée

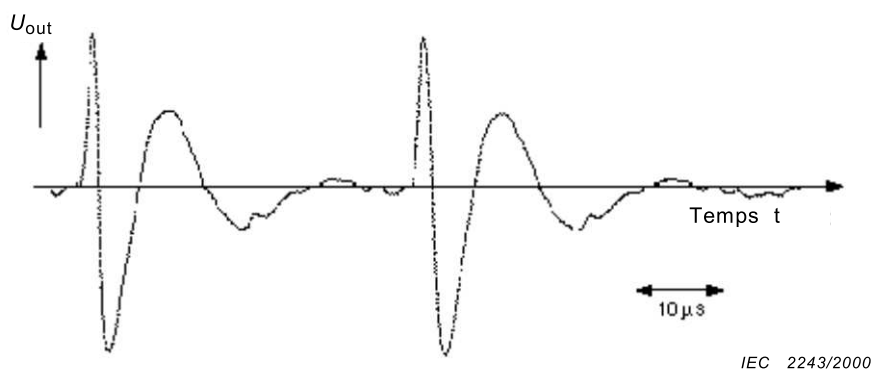


Figure E.1b – $\Delta f = 45 \dots 440$ kHz, impulsion d'entrée allongée

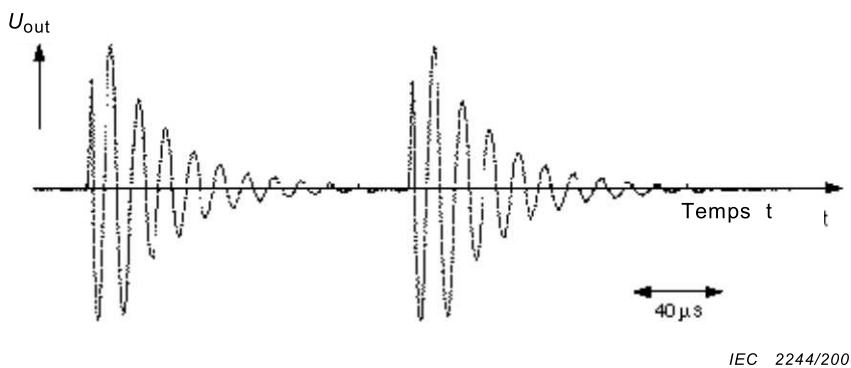
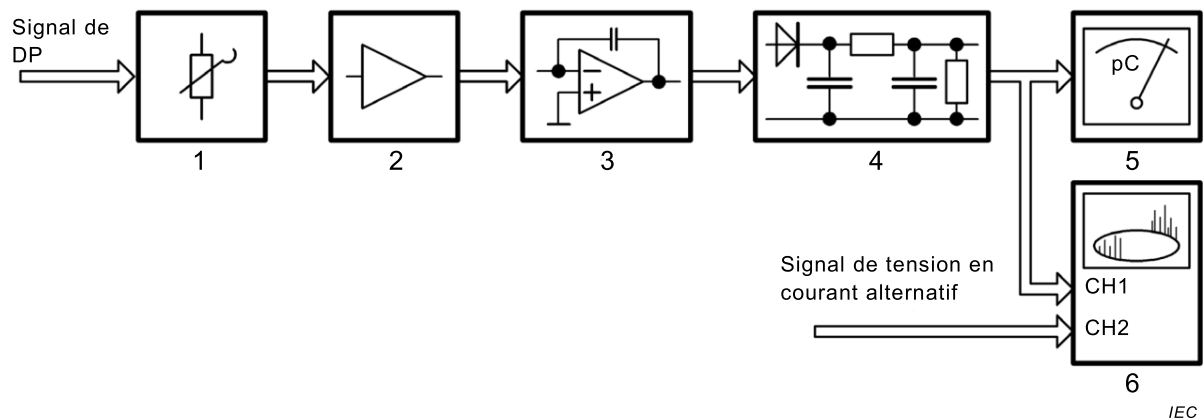


Figure E.1c – $\Delta f = 10$ kHz; $f_m = 75$ kHz

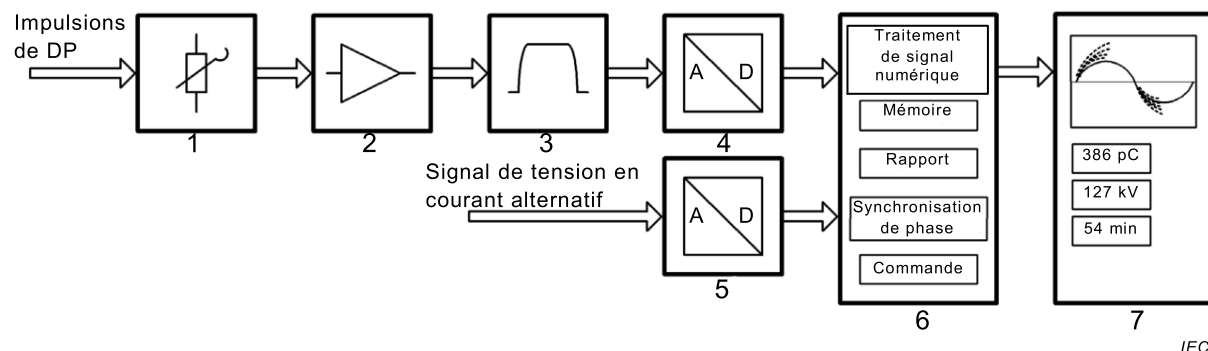
Figure E.1 – Signaux de tension de sortie U_{out} de deux dispositifs de mesure différents pour la charge apparente (double impulsion)



Légende

1	Atténuateur	4	Détecteur de crête et unité d'évaluation
2	Amplificateur	5	Instrument de relevé
3	Intégrateur électronique	6	Unité de visualisation

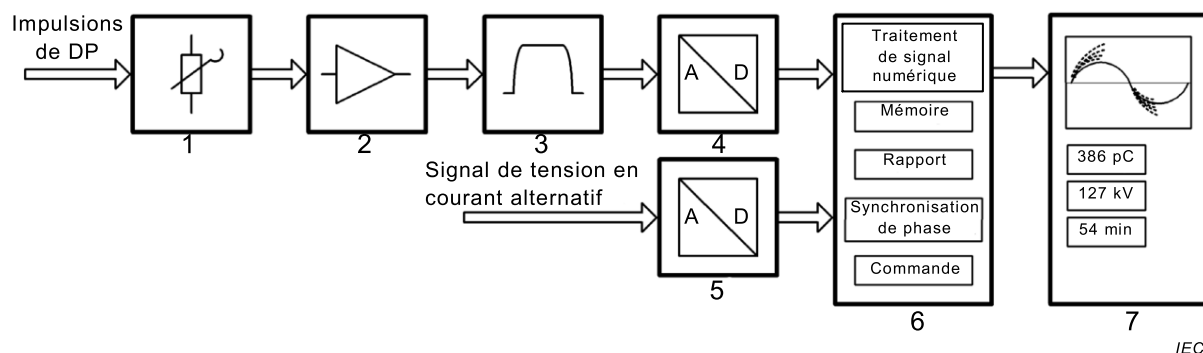
Figure E.2 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP analogique équipé d'un intégrateur électronique



Légende

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Atténuateur | 4 | Intégrateur numérique |
| 2 | Convertisseur A/N pour impulsions de DP | 5 | Convertisseur A/N pour tension alternative |
| 3 | Filtre passe-bande numérique | 6 | Unité d'acquisition |
| | | 7 | Unité d'évaluation et de visualisation |

a) Conversion A/N directe des impulsions de DP d'entrée

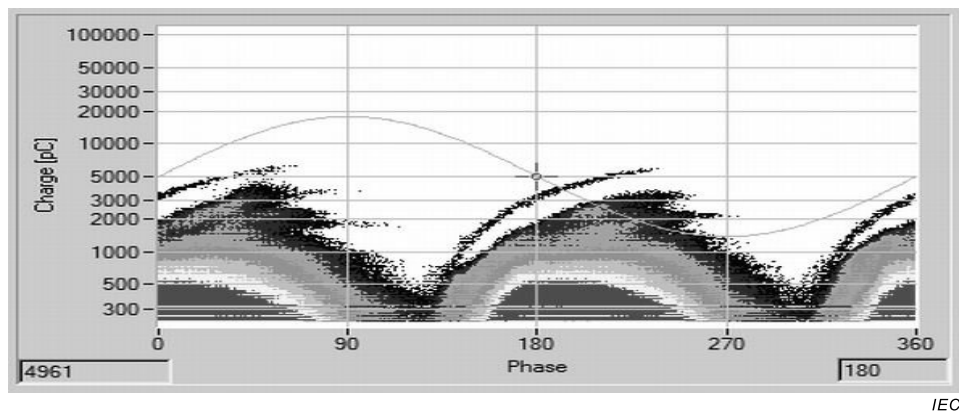


Légende

- | | | | |
|---|--------------------|---|---|
| 1 | Atténuateur | 4 | Convertisseur A/N pour impulsions de charge apparente |
| 2 | Amplificateur | 5 | Convertisseur A/N pour signal de tension alternative |
| 3 | Filtre passe-bande | 6 | Unité d'acquisition |
| | | 7 | Unité d'évaluation et de visualisation |

b) Intégration des impulsions de DP d'entrée utilisant un filtre passe-bande suivie d'une conversion A/N

Figure E.3 – Schéma fonctionnel d'un appareil de mesure de DP numérique



NOTE Les impulsions de DP apparaissant dans le demi-cycle négatif de la tension d'essai ont été inversées et apparaissent ainsi comme des impulsions positives. En raison des importantes amplitudes de diffusion de DP, le mode d'affichage logarithmique a été utilisé.

Figure E.4 – Exemple de motif de DP résolu en phase

Annexe F **(informative)**

Méthodes non électriques de détection de DP

F.1 Généralités

Les méthodes non électriques de détection des **décharges partielles** comprennent des méthodes acoustiques, optiques et chimiques, ainsi que l'observation des effets des décharges sur l'objet en essai, lorsqu'elle peut être faite après l'essai.

Ces méthodes ne conviennent généralement pas aux mesures quantitatives des grandeurs relatives aux **décharges partielles** telles que définies dans la présente norme, mais elles sont essentiellement utilisées pour détecter et/ou localiser les décharges.

F.2 Détection acoustique

Des observations auditives faites dans une salle à faible niveau de bruit, peuvent être utilisées comme moyen de détection des **décharges partielles**.

Des mesures acoustiques non subjectives, généralement faites avec des microphones ou d'autres transducteurs acoustiques utilisés avec des amplificateurs et des dispositifs d'affichage adéquats, peuvent aussi être utiles, particulièrement pour localiser les décharges. Des microphones à sélectivité directionnelle et à haute sensibilité dans le domaine des fréquences ultrasonores conviennent pour localiser des décharges dues à l'effet couronne dans l'air. Des transducteurs acoustiques peuvent également être utilisés pour localiser des décharges dans les postes à enveloppe métallique ou dans l'équipement immergé dans l'huile tels que des transformateurs; ils peuvent être situés à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve.

F.3 Détection visuelle ou optique

Les observations visuelles peuvent être effectuées dans une salle obscure, après un temps d'adaptation des yeux à l'obscurité et, au besoin, à l'aide de jumelles à grande ouverture. On peut également faire un enregistrement photographique, mais des temps d'exposition assez longs sont généralement nécessaires. Des photomultiplicateurs ou des amplificateurs d'image sont parfois utilisés pour des applications particulières.

F.4 Détection chimique

La présence de **décharges partielles** dans l'appareillage isolé à l'huile ou au gaz peut être détectée dans certains cas en procédant à l'analyse des produits de décomposition dissous dans l'huile ou le gaz. Ces produits s'accumulent au cours de périodes de fonctionnement prolongées. L'analyse chimique peut donc aussi servir à évaluer la dégradation qui a été causée par les **décharges partielles**.

F.5 Documents de référence

Pour des informations supplémentaires voir aussi:

IEC 60567:1992, *Guide d'échantillonnage de gaz et d'huile dans les matériels électriques immergés, pour l'analyse des gaz libres et dissous*

IEC 60599:1999, *Matériels électriques imprégnés d'huile minérale en service – Guide pour l'interprétation de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres*

IEC 61181:1993, *Matériaux isolants imprégnés – Application de l'analyse des gaz dissous (DGA) lors d'essais en usine de matériels électriques*

Annexe G (informative)

Perturbations

G.1 Sources de perturbations

Les mesures quantitatives des grandeurs relatives aux **décharges partielles** sont souvent brouillées par les interférences causées par des perturbations qui se classent en deux catégories:

- Les perturbations qui se produisent même lorsque le circuit d'essai n'est pas alimenté. Elles proviennent par exemple de manœuvres dans d'autres circuits, de machines à collecteur, d'essais à haute tension exécutés à proximité, d'émissions radioélectriques, etc., y compris le bruit propre de l'appareil de mesure lui-même. Elles peuvent également se produire lorsque l'alimentation haute tension est connectée au circuit d'essai, avec une tension nulle.
- Les perturbations qui existent seulement lorsque le circuit est alimenté, mais qui ne se produisent pas dans l'objet en essai. Ces perturbations augmentent généralement avec la tension d'essai. Elles peuvent comprendre par exemple des **décharges partielles** dans le transformateur d'essai, sur les conducteurs à haute tension ou dans des traversées (lorsqu'elles ne font pas partie de l'objet en essai). Des perturbations peuvent également provenir d'amorçages dus à une mise à la terre imparfaite d'objets voisins ou de contacts défectueux entre pièces portées à la haute tension, par exemple des amorçages entre des répartiteurs et d'autres conducteurs haute tension reliés aux répartiteurs pour les besoins de l'essai. Des perturbations peuvent également être provoquées par les harmoniques de rang élevé de la tension d'essai qui sont dans ou proches de la **bande passante** du système de mesure. De tels harmoniques élevés sont souvent présents dans la source basse tension en raison de la présence de dispositifs de commutation à semi-conducteurs (thyristors, etc.) et sont transmis, avec les bruits de décharges d'amorçage, par l'intermédiaire du transformateur d'essai ou d'autres connexions, aux circuits d'essai et de mesure.

Pour le cas des perturbations lors des essais sous tension continue, voir 11.5.2.

G.2 Détection des perturbations

Les sources indépendantes de tension peuvent être décelées par la lecture du mesureur en l'absence d'alimentation du circuit d'essai et/ou lorsque la source haute tension est branchée au circuit d'essai et que la tension est nulle. La valeur lue sur l'appareil constitue une mesure de ces perturbations.

Les sources de perturbations dépendant de la tension peuvent être détectées de la façon suivante: l'objet en essai est soit retiré, soit remplacé par un condensateur équivalent ne présentant pas de **décharges partielles** significatives à la tension d'essai spécifiée. Il convient que le circuit soit étalonné à nouveau suivant la procédure indiquée dans l'article 5. Ensuite, le circuit peut être mis sous tension jusqu'à la pleine valeur de la tension d'essai.

Si le niveau de perturbations dépasse 50 % de l'amplitude de décharge maximale spécifiée pour l'objet en essai, il convient que des dispositions soient adoptées pour réduire les perturbations. On pourra utiliser pour cela une ou plusieurs des méthodes décrites auparavant. Il est incorrect de retrancher le niveau des perturbations de la valeur de l'amplitude des **décharges partielles** mesurées.

L'emploi d'un oscilloscope comme appareil de mesure à titre indicatif ou l'évaluation des grandeurs relatives aux DP acquises numériquement peut aider l'opérateur à faire la distinction entre les **décharges partielles** se produisant dans l'objet en essai et les perturbations externes, par exemple le **bruit de fond**; cela permet parfois de déterminer le type de perturbations ou d'identifier le type de **décharges partielles**.

D'autres méthodes électriques ou non électriques de détection (annexe F) sont souvent utiles pour localiser l'effet de couronne sur les conducteurs haute tension ou des décharges n'importe où dans la zone d'essai. Elles peuvent également être un moyen indépendant de confirmer l'existence de perturbations et de **décharges partielles** dans l'objet en essai.

G.3 Réduction des perturbations

G.3.1 Blindage et filtrage

On peut obtenir une réduction des perturbations par une mise à la terre convenable située à proximité de l'aire d'essai de toutes les structures conductrices qui doivent aussi être exemptes de saillies aiguës, et par un filtrage des réseaux d'alimentation des circuits d'essai et de mesure. Une bonne réduction des perturbations est obtenue lorsque les essais sont effectués dans une salle blindée où toutes les liaisons électriques à la salle d'essai sont faites par l'intermédiaire de filtres qui suppriment les perturbations.

G.3.2 Circuits équilibrés en pont

Un circuit équilibré en pont comme celui représenté sur la figure 1c peut atténuer des perturbations telles que celles mentionnées ci-dessus et souvent permettre à l'observateur de discriminer les décharges dans l'objet en essai en dépit des décharges présentes dans d'autres parties du circuit d'essai.

G.3.3 Traitement et extraction électroniques des signaux

D'une façon générale et plus particulièrement dans un environnement industriel, la sensibilité de la mesure est limitée par l'existence de perturbations. Diverses méthodes électroniques, qui peuvent être utilisées séparément ou ensemble, permettent de séparer le véritable signal dû à la **décharge partielle** des perturbations. Il convient que leur mise en œuvre soit assortie de précautions et de ne supprimer ou masquer en aucun cas des DP significatives. Quelques unes de ces méthodes sont décrites ci-après.

G.3.3.1 Méthode de fenêtrage dans le temps

Le mesureur peut comprendre une porte qui peut s'ouvrir ou se fermer suivant une séquence prévue, permettant ainsi de transmettre le signal d'entrée ou de le bloquer. Si les perturbations se produisent à intervalles réguliers, la porte peut être fermée pendant ces intervalles. Lors des essais sous tension alternative, les signaux de décharges réelles se produisent souvent pendant certains intervalles de temps réguliers bien définis par rapport à la période d'application de la tension d'essai. La méthode de fenêtrage temporel peut être verrouillée en phase pour ouvrir la porte uniquement pendant ces intervalles.

G.3.3.2 Méthode de discrimination de la polarité

Les signaux de **décharges partielles** provenant de l'objet en essai peuvent être distingués des perturbations extérieures au circuit d'essai en comparant les polarités relatives des impulsions à la sortie de deux dispositifs de couplage, comme indiqué à la figure 1d. Un dispositif logique effectue cette comparaison et commande la porte du mesureur comme décrit ci-dessus, pour laisser passer les impulsions de la polarité choisie. En conséquence, seules les impulsions provenant de l'objet en essai sont enregistrées.

Toutefois, les perturbations qui sont induites de façon électromagnétique dans la boucle formée par C_a et C_k ne peuvent être distinguées des **décharges partielles** sans utiliser de moyens supplémentaires.

G.3.3.3 Moyennage des impulsions

Dans une installation industrielle, de nombreuses perturbations ont un caractère aléatoire, alors que les **décharges partielles** se reproduisent sensiblement au même instant par

rapport à la période de la tension d'essai. Il est donc possible de réduire notablement le niveau relatif des perturbations aléatoires en utilisant les techniques de moyennage du signal.

G.3.3.4 Choix de la fréquence

Les perturbations par les émissions radiophoniques sont limitées à des bandes de fréquences discrètes, mais influencent toutefois les détecteurs de **décharges partielles** à bande large si la fréquence transmise se situe dans la bande passante du mesureur. Pour réduire ce type d'interférence, on peut réduire le gain de l'amplificateur du mesureur à l'aide des filtres coupe-bande accordés sur les fréquences des émetteurs perturbateurs. On peut également utiliser des mesureurs à bande étroite accordés sur des fréquences pour lesquelles le niveau des émetteurs est négligeable.

G.4 Niveaux des perturbations

Aucune valeur précise concernant l'amplitude des perturbations ne peut être donnée, mais à titre d'indication, on peut dire que **l'amplitude de charge apparente** équivalente des perturbations que l'on peut rencontrer sur des plates-formes industrielles non blindées est de quelques centaines de picocoulombs (pC), en particulier dans le cas de circuits d'essai de grandes dimensions géométriques. Par l'emploi des techniques décrites dans cette annexe, de telles perturbations peuvent être considérablement réduites.

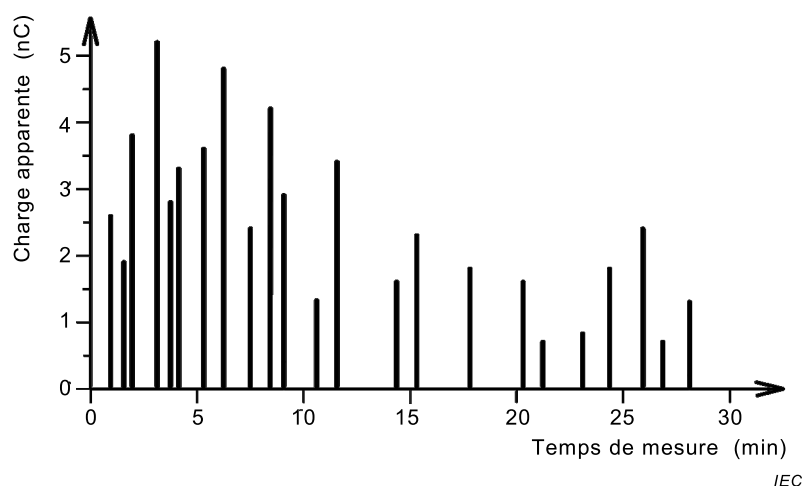
Dans les aires d'essais blindées où des méthodes de réduction des perturbations efficaces décrites dans cette annexe sont appliquées, et où toutes les précautions nécessaires sont prises pour supprimer les perturbations provenant de la source d'alimentation et des autres équipements électriques, la limite de mesure résiduelle est celle du dispositif de mesure lui-même ou celle qui résulte d'imperfections mineures du blindage, de la mise à la terre ou du filtrage; il est généralement possible d'atteindre une limite quantifiée en **charge apparente q** d'environ 1 pC.

Annexe H (informative)

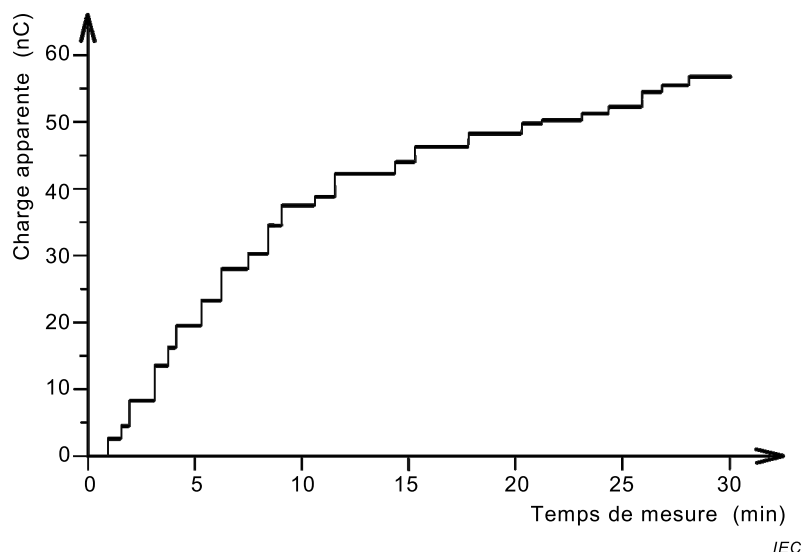
Évaluation des résultats d'essai de DP lors des essais en tension continue

Il convient de baser l'évaluation des résultats d'essai de DP sur des enregistrements de la charge apparente q de chaque impulsion de DP individuelle en fonction du temps pour un niveau constant de la tension d'essai en courant continu, comme représenté à la Figure H.1a). Il est important de définir le temps entre impulsions de DP successives lorsqu'un temps de résolution de 2 ms est recommandé.

En se fondant sur le graphique représenté à la Figure H.1a), la charge apparente accumulée des impulsions individuelles en fonction du temps de mesure est affichée à la Figure H.1b).



a) Charge apparente des impulsions individuelles de DP

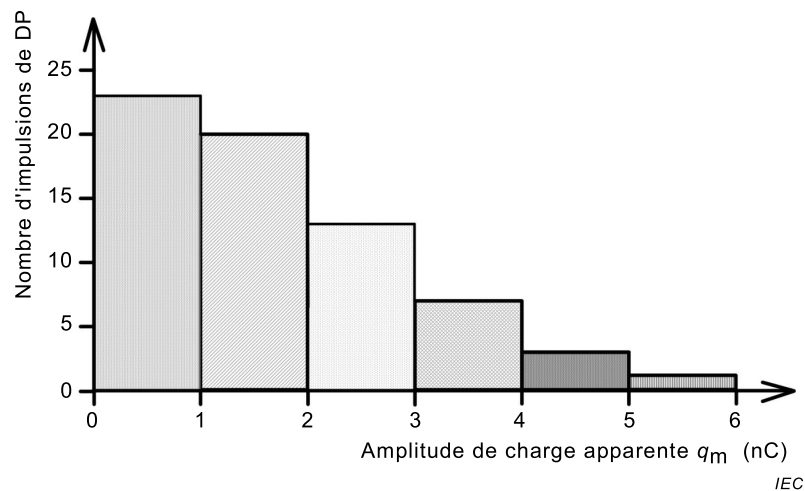


b) Charge apparente accumulée

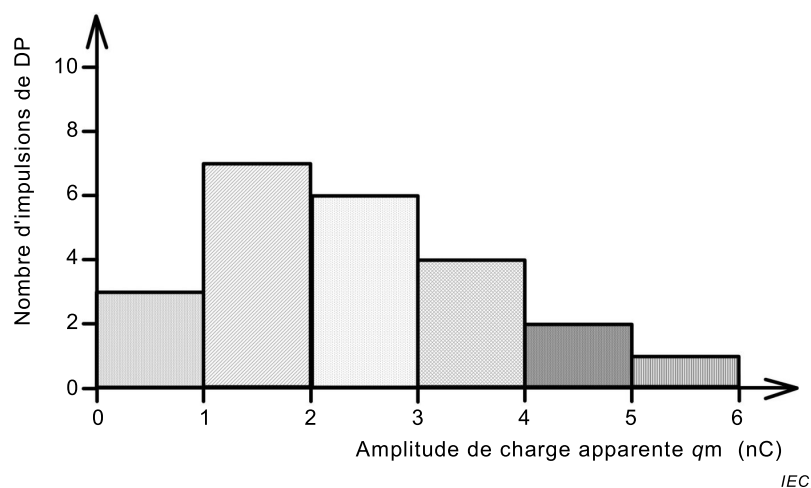
Anglais	Français
Apparent charge [nC]	Charge apparente [nC]
Measuring time [min]	Temps de mesure [min]

**Figure H.1 – Modes d'affichage des impulsions apparentes
en fonction du temps de mesure**

Des informations supplémentaires sur le comportement des DP peuvent être obtenues si le nombre m d'impulsions de DP en fonction de l'amplitude de charge apparente dépassant des niveaux de seuil spécifiés pendant le temps de mesure est affiché, comme représenté à la Figure H.2a). Ce graphique est basé sur le train d'impulsions de DP représenté à la Figure H.1a). De plus, la présentation du nombre m d'impulsions apparaissant à l'intérieur de limites spécifiées de l'amplitude de charge apparente semble utile pour évaluer l'activité des DP lors des essais en tension continue.



a) nombre m d'impulsions de DP dépassant les limites de l'amplitude de charge apparente q_m suivantes: 0 nC, 1 nC, 2 nC, 3 nC, 4 nC, 5 nC.



b) nombre m d'impulsions de DP apparaissant dans les intervalles de charge apparente q_{mi} suivants: (0-1) nC, (1-2) nC, (2-3) nC, (3-4) nC, (4-5) nC

Figure H.2 – Histogrammes du nombre m d'impulsions de DP en fonction des intervalles de charge apparente

Bibliographie

- [1] CIGRE WG D1.33, “Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance with IEC 60270,” Technical Brochure 366, *Electra*, vol. 60, no. 241, Dec. 2008.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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