

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60270**

Troisième édition  
Third edition  
2000-12

---

---

**Techniques des essais à haute tension –  
Mesures des décharges partielles**

**High-voltage test techniques –  
Partial discharge measurements**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60270:2000

## Numérotation des publications

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

## Editions consolidées

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

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- Catalogue des publications de la CEI

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

- IEC Just Published

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

- Service clients

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

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

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

## Consolidated editions

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

## Further information on IEC publications

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

- IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- Catalogue of IEC publications

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

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

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

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60270**

Troisième édition  
Third edition  
2000-12

---

---

**Techniques des essais à haute tension –  
Mesures des décharges partielles**

**High-voltage test techniques –  
Partial discharge measurements**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**X**

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                                | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                             | 8     |
| Articles                                                                                                       |       |
| 1 Domaine d'application.....                                                                                   | 12    |
| 2 Références normatives .....                                                                                  | 14    |
| 3 Définitions.....                                                                                             | 14    |
| 4 Circuits d'essai et systèmes de mesure.....                                                                  | 24    |
| 4.1 Prescriptions générales .....                                                                              | 24    |
| 4.2 Circuits d'essai pour tension alternative.....                                                             | 24    |
| 4.3 Systèmes de mesure de charge apparente .....                                                               | 26    |
| 4.3.1 Généralités .....                                                                                        | 26    |
| 4.3.2 Dispositif de couplage .....                                                                             | 26    |
| 4.3.3 Réponse des appareils de mesure de la charge apparente<br>à un train d'impulsions .....                  | 26    |
| 4.3.4 Appareils de mesure de DP à large bande .....                                                            | 28    |
| 4.3.5 Appareils de mesure de DP à large bande avec intégrateur actif .....                                     | 30    |
| 4.3.6 Appareils de mesure de DP à bande étroite .....                                                          | 30    |
| 4.4 Prescriptions pour les mesures effectuées avec des appareils numériques de DP .....                        | 30    |
| 4.4.1 Prescriptions pour la mesure de la charge apparente $q$ .....                                            | 32    |
| 4.4.2 Exigences pour la mesure de la phase et de l'amplitude de<br>la tension d'essai .....                    | 32    |
| 4.5 Systèmes de mesure pour les grandeurs dérivées.....                                                        | 32    |
| 4.5.1 Dispositifs de couplage .....                                                                            | 32    |
| 4.5.2 Appareils de mesure du taux de répétition des impulsions $n$ .....                                       | 32    |
| 4.5.3 Appareils de mesure du courant de décharge moyen $I$ .....                                               | 34    |
| 4.5.4 Appareils de mesure de la puissance de décharge $P$ .....                                                | 34    |
| 4.5.5 Appareils de mesure du débit quadratique $D$ .....                                                       | 34    |
| 4.5.6 Appareils de mesure de la tension de perturbation radioélectrique .....                                  | 34    |
| 4.6 Appareils à bande passante ultra large pour la détection des DP.....                                       | 36    |
| 5 Etalonnage d'un système de mesure dans le circuit d'essai complet .....                                      | 36    |
| 5.1 Généralités.....                                                                                           | 36    |
| 5.2 Procédure d'étalonnage.....                                                                                | 36    |
| 6 Dispositifs d'étalonnage .....                                                                               | 38    |
| 6.1 Généralités.....                                                                                           | 38    |
| 6.2 Dispositif d'étalonnage pour étalonnage du système de mesure dans le circuit<br>d'essai complet .....      | 38    |
| 6.3 Dispositifs d'étalonnage pour essais de détermination des caractéristiques<br>des systèmes de mesure ..... | 40    |

## CONTENTS

|                                                                                              | Page |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                                                                               | 9    |
| Clause                                                                                       |      |
| 1 Scope .....                                                                                | 13   |
| 2 Normative references .....                                                                 | 15   |
| 3 Definitions .....                                                                          | 15   |
| 4 Test circuits and measuring systems .....                                                  | 25   |
| 4.1 General requirements .....                                                               | 25   |
| 4.2 Test circuits for alternating voltages .....                                             | 25   |
| 4.3 Measuring systems for apparent charge .....                                              | 27   |
| 4.3.1 General .....                                                                          | 27   |
| 4.3.2 Coupling device .....                                                                  | 27   |
| 4.3.3 Pulse train response of instruments for the measurement<br>of apparent charge .....    | 27   |
| 4.3.4 Wide-band PD instruments .....                                                         | 29   |
| 4.3.5 Wide-band PD instruments with active integrator .....                                  | 31   |
| 4.3.6 Narrow-band PD instruments .....                                                       | 31   |
| 4.4 Requirements for measurements with digital PD-instruments .....                          | 31   |
| 4.4.1 Requirements for measurement of apparent charge $q$ .....                              | 33   |
| 4.4.2 Requirements for measurement of test voltage magnitude and phase .....                 | 33   |
| 4.5 Measuring systems for derived quantities .....                                           | 33   |
| 4.5.1 Coupling device .....                                                                  | 33   |
| 4.5.2 Instruments for the measurement of pulse repetition rate $n$ .....                     | 33   |
| 4.5.3 Instruments for the measurement of average discharge current $I$ .....                 | 35   |
| 4.5.4 Instruments for the measurement of discharge power $P$ .....                           | 35   |
| 4.5.5 Instruments for the measurement of quadratic rate $D$ .....                            | 35   |
| 4.5.6 Instruments for the measurement of the radio disturbance voltage .....                 | 35   |
| 4.6 Ultra-wide-band instruments for PD detection .....                                       | 37   |
| 5 Calibration of a measuring system in the complete test circuit .....                       | 37   |
| 5.1 General .....                                                                            | 37   |
| 5.2 Calibration procedure .....                                                              | 37   |
| 6 Calibrators .....                                                                          | 39   |
| 6.1 General .....                                                                            | 39   |
| 6.2 Calibrators for the calibration of a measuring system in the complete test circuit ..... | 39   |
| 6.3 Calibrators for performance tests on measuring systems .....                             | 41   |

| Articles                                                                                                                                                            | Pages |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 7 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage et des systèmes de mesure.....                                                                         | 40    |
| 7.1 Echéancier des essais.....                                                                                                                                      | 40    |
| 7.2 Maintien des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage .....                                                                                                | 42    |
| 7.2.1 Essais de type des dispositifs d'étalonnage.....                                                                                                              | 42    |
| 7.2.2 Essais de routine des dispositifs d'étalonnage.....                                                                                                           | 42    |
| 7.2.3 Essais de détermination des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage .....                                                                               | 42    |
| 7.2.4 Essais de contrôle des caractéristiques des dispositifs d'étalonnage .....                                                                                    | 42    |
| 7.2.5 Recueil de caractéristiques .....                                                                                                                             | 44    |
| 7.3 Maintien des caractéristiques des systèmes de mesure .....                                                                                                      | 44    |
| 7.3.1 Essais de type des systèmes de mesure de DP .....                                                                                                             | 44    |
| 7.3.2 Essais de routine des systèmes de mesure .....                                                                                                                | 46    |
| 7.3.3 Essais de détermination des caractéristiques des systèmes de mesures.....                                                                                     | 46    |
| 7.3.4 Contrôle des caractéristiques des systèmes de mesures.....                                                                                                    | 46    |
| 7.3.5 Contrôle des possibilités supplémentaires des systèmes de mesures<br>numériques .....                                                                         | 48    |
| 7.3.6 Recueil de caractéristiques .....                                                                                                                             | 50    |
| 8 Essais.....                                                                                                                                                       | 50    |
| 8.1 Prescriptions générales .....                                                                                                                                   | 50    |
| 8.2 Conditionnement de l'objet en essai .....                                                                                                                       | 50    |
| 8.3 Choix des procédures d'essai.....                                                                                                                               | 52    |
| 8.3.1 Détermination des tensions d'apparition et d'extinction des<br>décharges partielles .....                                                                     | 52    |
| 8.3.2 Détermination de l'amplitude des décharges partielles à une tension<br>d'essai spécifiée .....                                                                | 52    |
| 9 Incertitude de mesure et sensibilité .....                                                                                                                        | 54    |
| 10 Perturbations .....                                                                                                                                              | 54    |
| 11 Mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue.....                                                                                         | 56    |
| 11.1 Généralités.....                                                                                                                                               | 56    |
| 11.2 Grandeurs relatives aux décharges partielles .....                                                                                                             | 56    |
| 11.3 Tensions relatives aux décharges partielles.....                                                                                                               | 56    |
| 11.3.1 Tensions d'apparition et d'extinction des décharges .....                                                                                                    | 56    |
| 11.3.2 Tension d'essai de décharges partielles .....                                                                                                                | 58    |
| 11.4 Circuits d'essai et dispositifs de mesure .....                                                                                                                | 58    |
| 11.5 Essais .....                                                                                                                                                   | 58    |
| 11.5.1 Choix des procédures d'essai.....                                                                                                                            | 58    |
| 11.5.2 Perturbations .....                                                                                                                                          | 58    |
| Annexe A (normative) Essai de détermination des caractéristiques d'un dispositif d'étalonnage ...                                                                   | 70    |
| Annexe B (informative) Circuits d'essai.....                                                                                                                        | 76    |
| Annexe C (informative) Mesures sur des câbles, postes sous enveloppe métallique,<br>condensateurs de puissance et objets en essai comprenant des enroulements ..... | 80    |
| Annexe D (informative) Utilisation de mesureurs de perturbations (interférences)<br>radioélectriques pour la détection des décharges partielles .....               | 82    |
| Annexe E (informative) Directives sur l'acquisition numérique des grandeurs relatives<br>aux décharges partielles.....                                              | 86    |
| Annexe F (informative) Méthodes non électriques de détection de DP .....                                                                                            | 92    |
| Annexe G (informative) Perturbations .....                                                                                                                          | 94    |

| Clause                                                                                                                           | Page |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 7 Maintaining the characteristics of calibrators and measuring systems .....                                                     | 41   |
| 7.1 Schedule of tests .....                                                                                                      | 41   |
| 7.2 Maintaining the characteristics of calibrators .....                                                                         | 43   |
| 7.2.1 Type tests on calibrators .....                                                                                            | 43   |
| 7.2.2 Routine tests on calibrators .....                                                                                         | 43   |
| 7.2.3 Performance tests on calibrators .....                                                                                     | 43   |
| 7.2.4 Performance checks on calibrators .....                                                                                    | 43   |
| 7.2.5 Record of performance .....                                                                                                | 45   |
| 7.3 Maintaining the characteristics of measuring systems .....                                                                   | 45   |
| 7.3.1 Type tests on PD measuring systems .....                                                                                   | 45   |
| 7.3.2 Routine tests on measuring systems .....                                                                                   | 47   |
| 7.3.3 Performance tests on measuring systems .....                                                                               | 47   |
| 7.3.4 Performance checks for measuring systems .....                                                                             | 47   |
| 7.3.5 Checks for additional capabilities of digital measuring systems .....                                                      | 49   |
| 7.3.6 Record of performance .....                                                                                                | 51   |
| 8 Tests .....                                                                                                                    | 51   |
| 8.1 General requirements .....                                                                                                   | 51   |
| 8.2 Conditioning of the test object .....                                                                                        | 51   |
| 8.3 Choice of test procedure .....                                                                                               | 53   |
| 8.3.1 Determination of the partial discharge inception and extinction voltages .....                                             | 53   |
| 8.3.2 Determination of the partial discharge magnitude at a specified test voltage .....                                         | 53   |
| 9 Measuring uncertainty and sensitivity .....                                                                                    | 55   |
| 10 Disturbances .....                                                                                                            | 55   |
| 11 Partial discharge measurements during tests with direct voltage .....                                                         | 57   |
| 11.1 General .....                                                                                                               | 57   |
| 11.2 Quantities related to partial discharges .....                                                                              | 57   |
| 11.3 Voltages related to partial discharges .....                                                                                | 57   |
| 11.3.1 Partial discharge inception and extinction voltages .....                                                                 | 57   |
| 11.3.2 Partial discharge test voltage .....                                                                                      | 59   |
| 11.4 Test circuits and measuring systems .....                                                                                   | 59   |
| 11.5 Tests .....                                                                                                                 | 59   |
| 11.5.1 Choice of test procedures .....                                                                                           | 59   |
| 11.5.2 Disturbances .....                                                                                                        | 59   |
| Annex A (normative) Performance test on a calibrator .....                                                                       | 71   |
| Annex B (informative) Test circuits .....                                                                                        | 77   |
| Annex C (informative) Measurements on cables, gas insulated switchgear, power capacitors and on test objects with windings ..... | 81   |
| Annex D (informative) The use of radio disturbance (interference) meters for the detection of partial discharges .....           | 83   |
| Annex E (informative) Guidelines to digital acquisition of partial discharge quantities .....                                    | 87   |
| Annex F (informative) Non-electrical methods of PD detection .....                                                               | 93   |
| Annex G (informative) Disturbances .....                                                                                         | 95   |

|                                                                                                                                                                                  | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Figure 1 – Circuits d'essai fondamentaux pour la mesure des décharges partielles.....                                                                                            | 62    |
| Figure 2 – Circuit d'essai pour une mesure faite à la prise d'une traversée .....                                                                                                | 64    |
| Figure 3 – Circuit d'essai pour des objets auto-excités.....                                                                                                                     | 64    |
| Figure 4 – Connexions pour l'étalonnage du montage d'essai complet.....                                                                                                          | 68    |
| Figure 5 – Relation correcte entre l'amplitude et la fréquence pour minimiser l'erreur<br>d'intégration pour un système de mesure à large bande .....                            | 68    |
| Figure A.1 – Etalonnage des calibrateurs d'impulsions .....                                                                                                                      | 74    |
| Figure D.1 – Variation de la lecture $f(N)$ du mesureur de perturbations radioélectriques<br>du CISPR avec la fréquence de répétition $N$ , pour des impulsions constantes ..... | 84    |
| Figure E.1 – Signaux de tension de sortie $U_{out}$ de deux dispositifs de mesure différents<br>pour la charge apparente (double impulsion) .....                                | 90    |
| Tableau 1 – Réponse des appareils de mesure de DP à un train d'impulsions .....                                                                                                  | 28    |
| Tableau 2 – Essais demandés pour les dispositifs d'étalonnage .....                                                                                                              | 44    |
| Tableau 3 – Essais nécessaires pour les systèmes de mesure .....                                                                                                                 | 48    |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60270:2000

|                                                                                                                                  | Page |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figure 1 – Basic partial discharge test circuits.....                                                                            | 63   |
| Figure 2 – Test circuit for measurement at a tapping of a bushing .....                                                          | 65   |
| Figure 3 – Test circuit for measuring self-excited test objects.....                                                             | 65   |
| Figure 4 – Connections for the calibration of the complete test arrangement .....                                                | 69   |
| Figure 5 – Correct relationship between amplitude and frequency to minimize integration errors for a wide-band system.....       | 69   |
| Figure A.1 – Calibration of pulse calibrators .....                                                                              | 75   |
| Figure D.1 – Variation of CISPR radio disturbance meter reading $f(N)$ with repetition frequency $N$ , for constant pulses ..... | 85   |
| Figure E.1 – Output voltage signals $U_{out}$ of two different PD measuring systems for apparent charge (double pulse) .....     | 91   |
| Table 1 – Pulse train response of PD instruments .....                                                                           | 29   |
| Table 2 – Tests required for calibrators.....                                                                                    | 45   |
| Table 3 – Tests required for measuring systems .....                                                                             | 49   |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60270:2000

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION – MESURES DES DÉCHARGES PARTIELLES

### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1981 dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 42/162/FDIS | 42/165/RVD      |

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

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES –  
PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS**

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1981 of which it constitutes a technical revision.

The text of this standard is based on the following documents:

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 42/162/FDIS | 42/165/RVD       |

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

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

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**.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008.  
A cette date, la publication sera

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

Le contenu du corrigendum d'octobre 2001 a été pris en considération dans cet exemplaire.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60270:2000

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

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

The contents of the corrigendum of October 2001 have been included in this copy.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60270:2000

## 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.

## 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 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 la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

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 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes 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  $\mu$ 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.

## 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 Definitions

For the purpose of this International Standard, the following 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  $\mu\text{s}$ . 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 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 $\phi_i$ 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 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 $\phi_i$ 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  $T_{\text{ref}}$  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

#### **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  $T_{\text{ref}}$ :

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

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  $T_{\text{ref}}$ , divisée par la durée de cet intervalle de temps:

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

Le **débit quadratique** s'exprime généralement en (coulombs)<sup>2</sup> par seconde (C<sup>2</sup>/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 $U_{\text{TPR}}$**

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**  $U_{\text{TPR}}$  est généralement exprimé en  $\mu\text{V}$ .

### 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.

### 3.3.6

#### 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  $T_{\text{ref}}$ :

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

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  $T_{\text{ref}}$  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)<sup>2</sup> per second (C<sup>2</sup>/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 $U_{\text{RDV}}$

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**  $U_{\text{RDV}}$  is generally expressed in  $\mu\text{V}$ .

### 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

#### **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 la CEI 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

### 3.6

#### **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

#### 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 $\Delta f$

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**  $\Delta f$  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**.

### 3.9.2

#### 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 $\Delta f$

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**  $\Delta f$  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

#### 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.

NOTE 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.

### 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 (CEI 60060-2:1994, 3.5.1)

## 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) utilisés 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);

### 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.

NOTE 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.

### 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)

## 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);

- une source 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 décharges partielles** à la tension d'essai spécifiée;
- 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**  $\Delta f$  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.

- 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**  $\Delta f$  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.

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  | $\geq 100$ |
|-----------------|----|----|----|----|-----|------------|
| $R_{\min}$ (%): | 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 de  $f_1$ ,  $f_2$  et  $\Delta f$  sont les suivantes:

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

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

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

NOTE 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.

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  | $\geq 100$ |
|-----------------|----|----|----|----|-----|------------|
| $R_{\min}$ (%): | 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  $f_1$ ,  $f_2$  and  $\Delta f$  are

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

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

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

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

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  $\mu$ s à 20  $\mu$ s.

#### 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  $\mu$ s. Le **temps de résolution des impulsions** pour des **DP** consécutives est inférieur à 10  $\mu$ s.

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  $\Delta f$  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  $\Delta f$  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  $\mu$ s.

#### 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.

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  $\mu\text{s}$  to 20  $\mu\text{s}$ .

#### 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  $\mu\text{s}$  are typical. The **pulse resolution time** for consecutive **PD** pulses is less than 10  $\mu\text{s}$ .

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**  $\Delta f$  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  $\Delta f$  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  $\mu\text{s}$ .

### 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.

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**  $\phi_i$  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 la CEI 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.

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**  $\phi_i$  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 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.

### 4.5.3 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 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 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.

#### 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 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.

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.

## 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.

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**.

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.

## 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.

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 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  $\pm 5\%$  ou  $\pm 1$  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.

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  $\pm 1$  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.

Les essais de réception peuvent comprendre des essais de type et des essais de routine. Cet échéancier est en accord avec les recommandations de la CEI 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  $\pm 1$  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  $\pm 1$  pC, selon la plus grande de ces valeurs;

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;

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.

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.

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  $\pm 5$  % 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  $\pm 5$  % 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.

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  $\pm 5$  % 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  $\pm 5$  % 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.

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  $\pm 2$  % 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  $\pm 2$  % entre ces deux valeurs est acceptable.

Voir aussi l'annexe E pour plus de détails.

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  $\pm 2$  % 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  $\pm 2$  % is permitted when comparing the two numbers.

See also annex E for further information.

### 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.

### 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.

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.

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**.

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  $\pm 1$  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.

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  $\pm 1$  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.

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

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**.

### 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.

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 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**.

### 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.

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.

### 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.

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.

### 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.

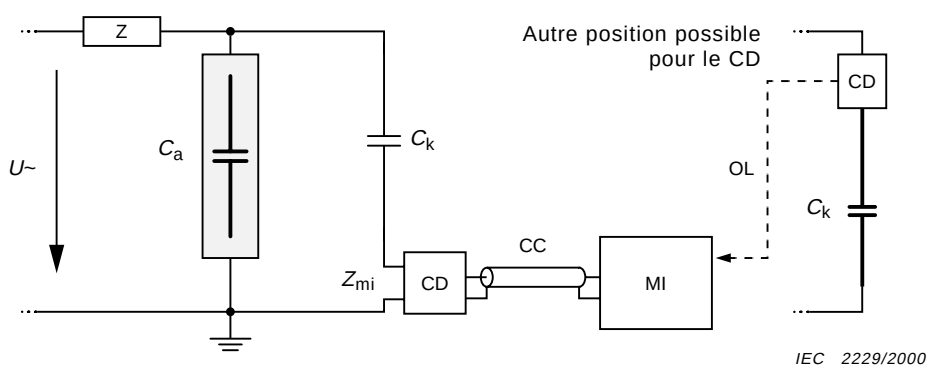


Figure 1a – Dispositif de couplage CD en série avec le condensateur de couplage

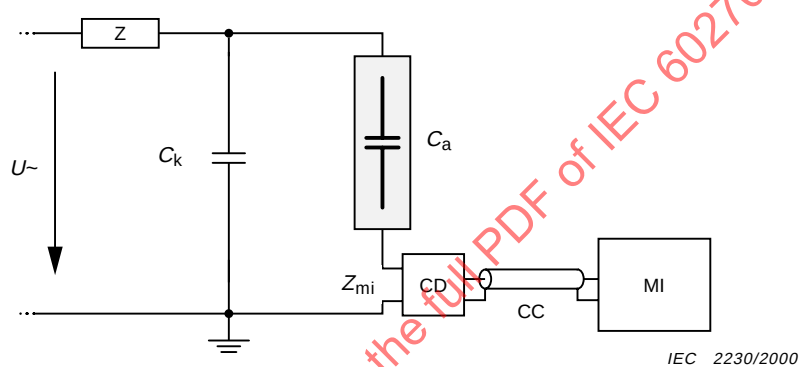


Figure 1b – Dispositif de couplage CD en série avec l'objet en essai

#### Composants

- $U$  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

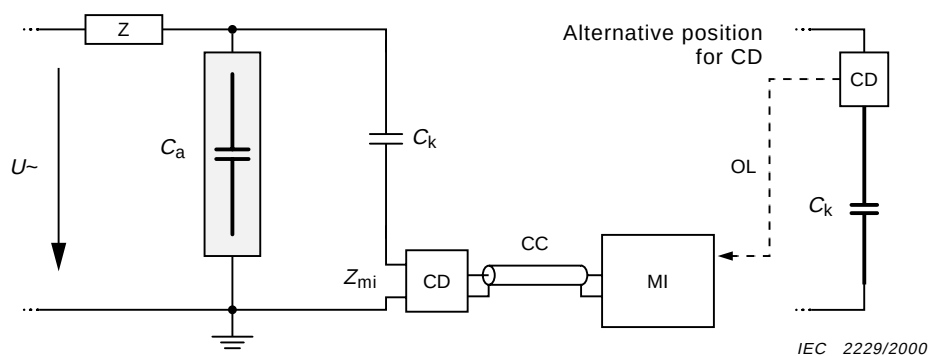


Figure 1a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor

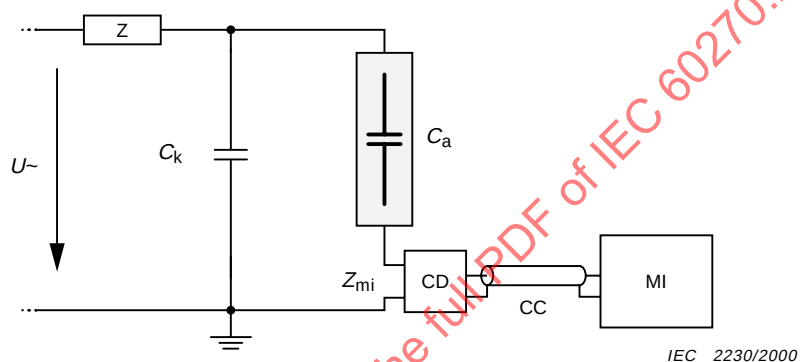


Figure 1b – Coupling device CD in series with the test object

**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

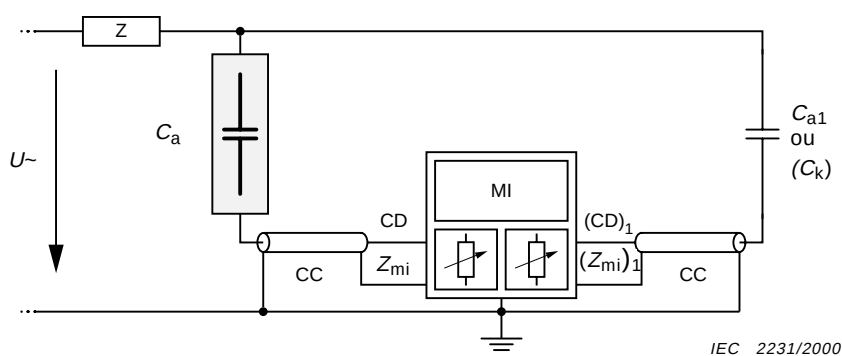


Figure 1c – Schéma d'un circuit équilibré

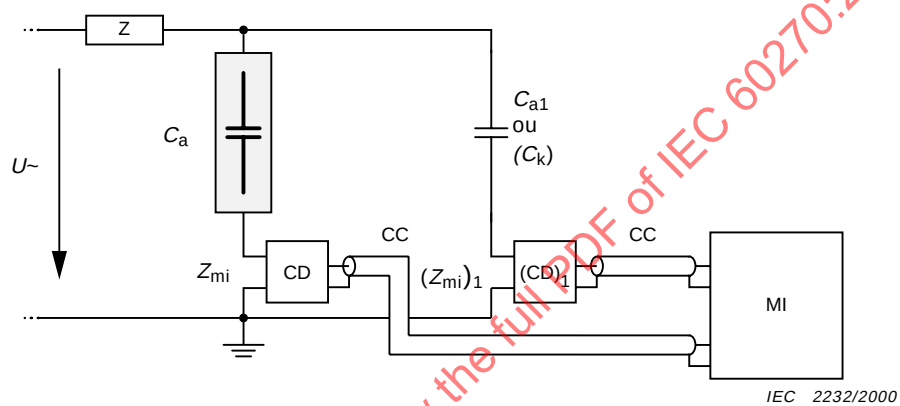


Figure 1d – Schéma d'un circuit de discrimination de la polarité

#### 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

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

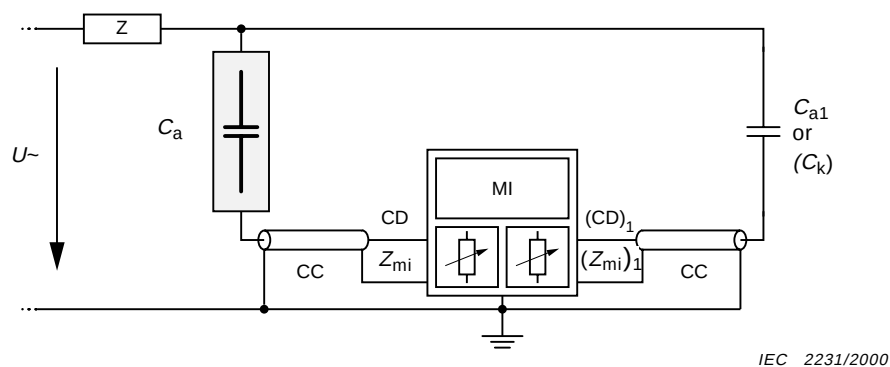


Figure 1c – Balanced circuit arrangement

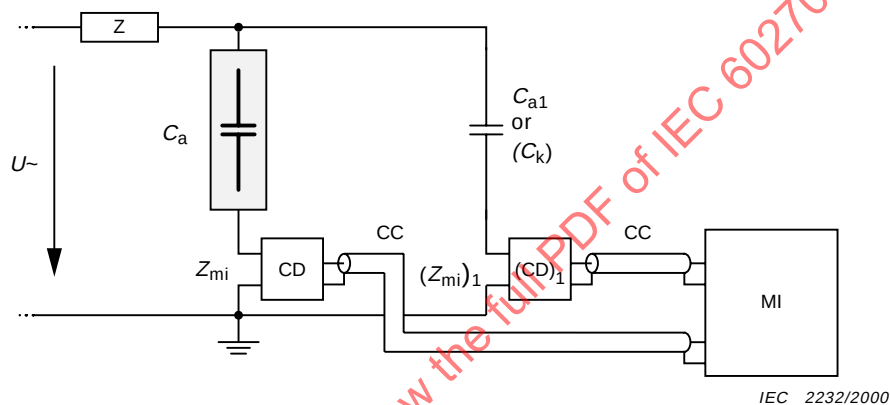
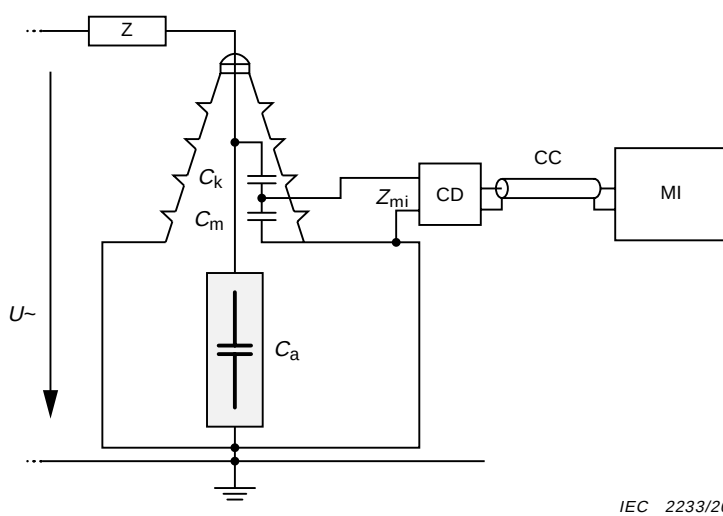


Figure 1d – Polarity discrimination circuit arrangement

**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

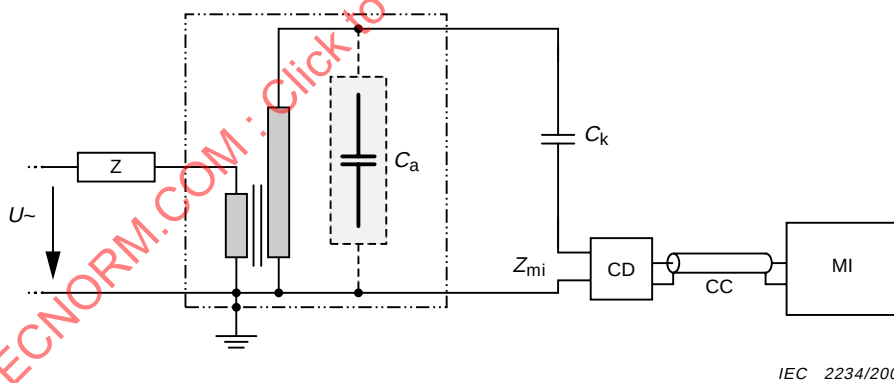
Figure 1 – Basic partial discharge test circuits



#### 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

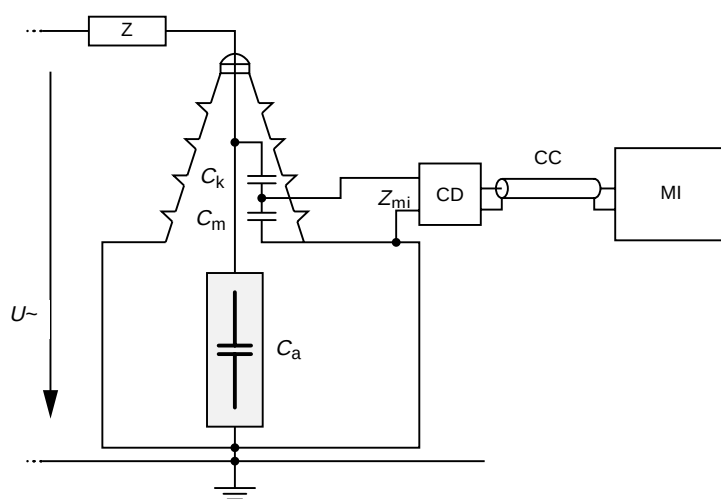
Figure 2 – Circuit d'essai pour une mesure faite à la prise d'une traversée



#### 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

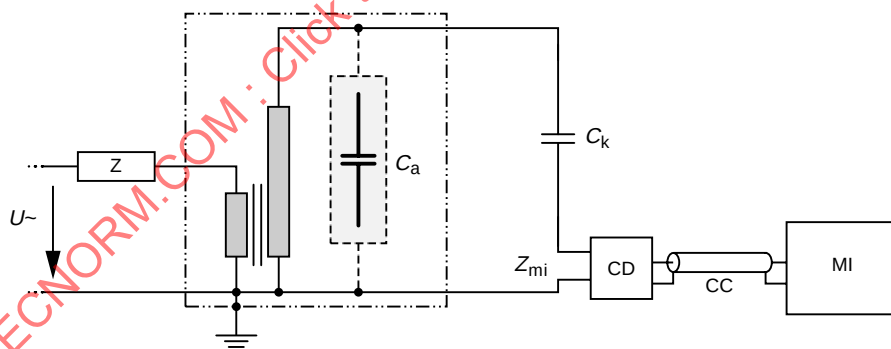
Figure 3 – Circuit d'essai pour des objets auto-excités



IEC 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

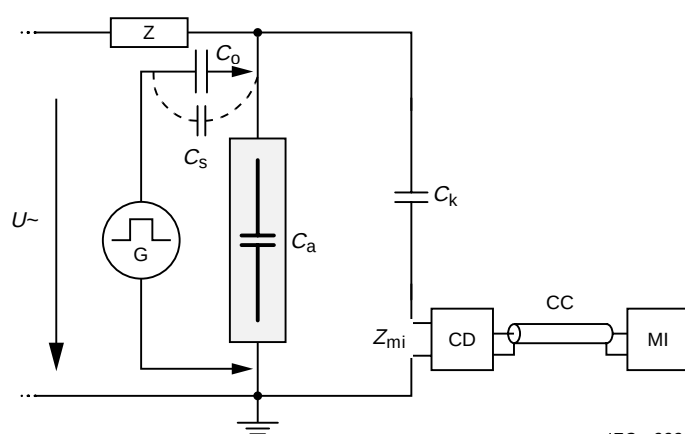
**Figure 2 – Test circuit for measurement at a tapping of a bushing**

IEC 2234/2000

**Components**

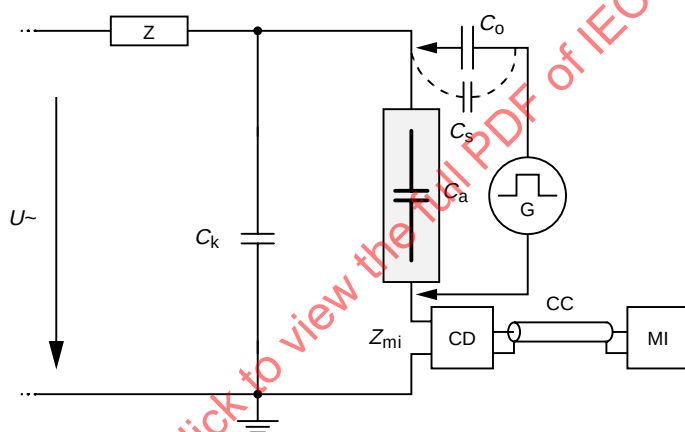
- $U_{\sim}$  low- or high-voltage supply
- $Z_{mi}$  input impedance of measuring system
- CC connecting cable
- $C_k$  coupling capacitor
- CD coupling device
- $C_a$  test object
- MI measuring instrument
- Z filter

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



IEC 2235/2000

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

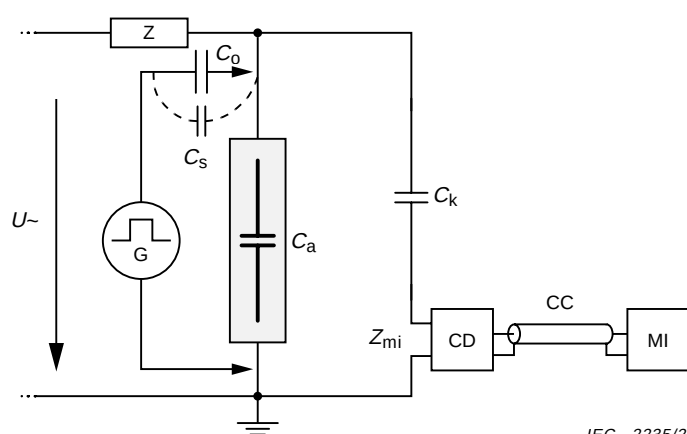


IEC 2236/2000

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

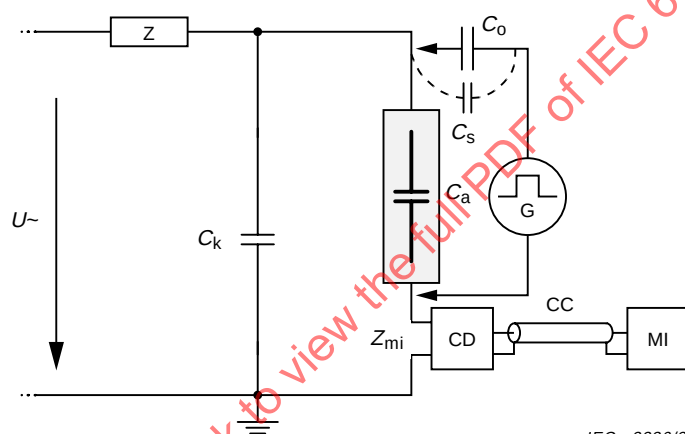
#### Composants

- $U$  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



IEC 2235/2000

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

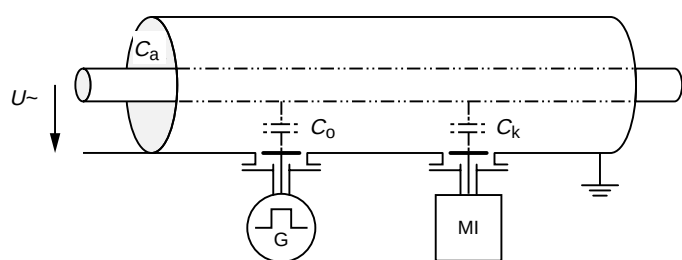


IEC 2236/2000

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

**Components**

- $U$  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



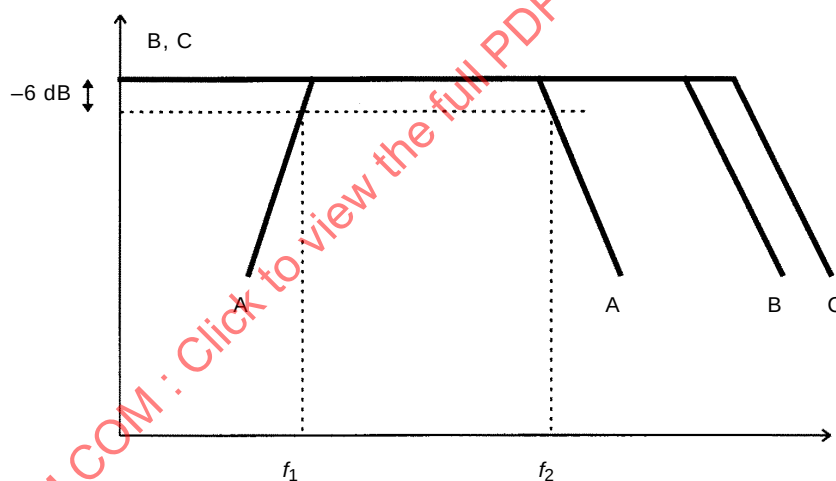
IEC 2237/2000

#### 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

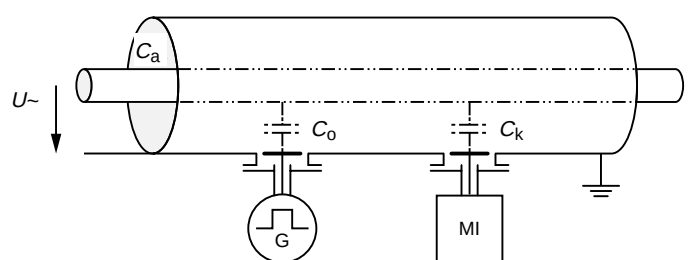


IEC 2238/2000

#### 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



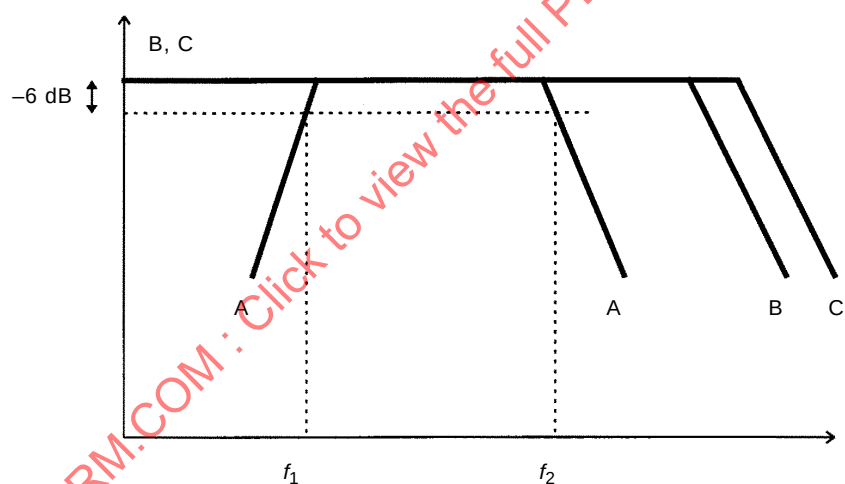
IEC 2237/2000

### 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

## 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

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  $\Omega$  et 200  $\Omega$ . 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 reliée 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).

## 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 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  $\Omega$  and 200  $\Omega$ . 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  $R_m = 33$   $\Omega$  and  $R_m = 200$   $\Omega$  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).

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60270:2000

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.

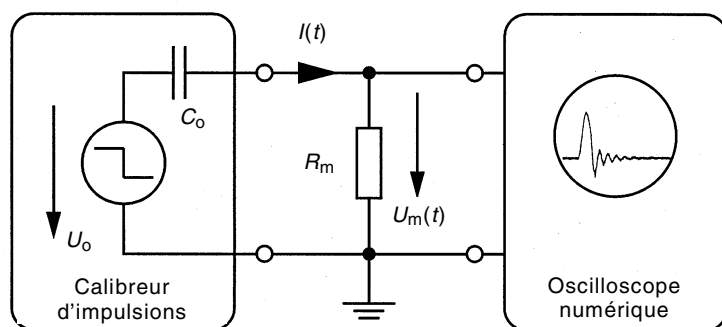
The digitizer should be verified with a suitable method, for example the one outlined in A.2, on all ranges used in order to verify that it does not exhibit an overly large creepage in the response to fast steps. A creeping response can lead to large uncertainty for the charge calculated with numerical 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  $U_{\text{ref}}$  in series with a reference capacitor  $C_{\text{ref}}$ . Consequently, current pulses  $i(t)$  are produced with similar shape and charge to that of the pulses from the calibrator under test. As then

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

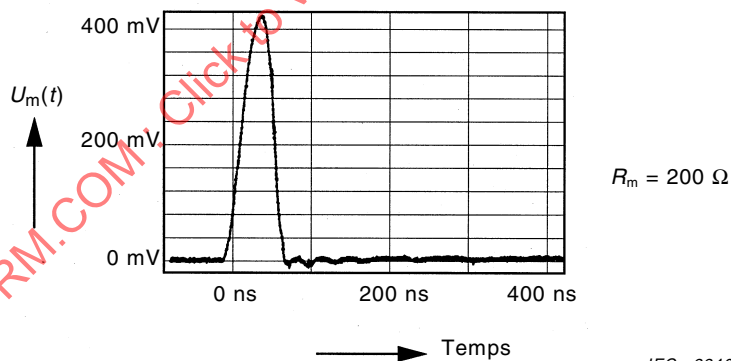
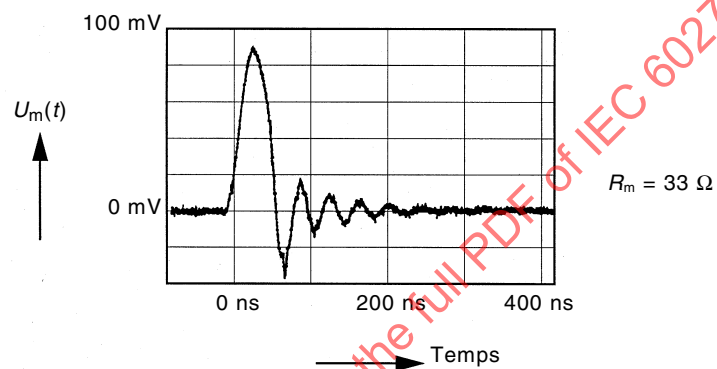
this reference charge magnitude  $q_{\text{ref}}$  is known with an uncertainty which is given by the uncertainties of  $U_{\text{ref}}$  and  $C_{\text{ref}}$  only.  $q_{\text{ref}}$  may thus be used to check the procedure as described before.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60270:2000



IEC 2239/2000

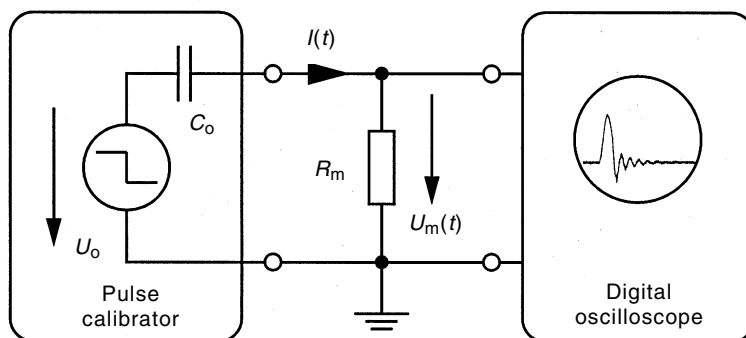
Figure A.1a – Circuit de mesure



IEC 2240/2000

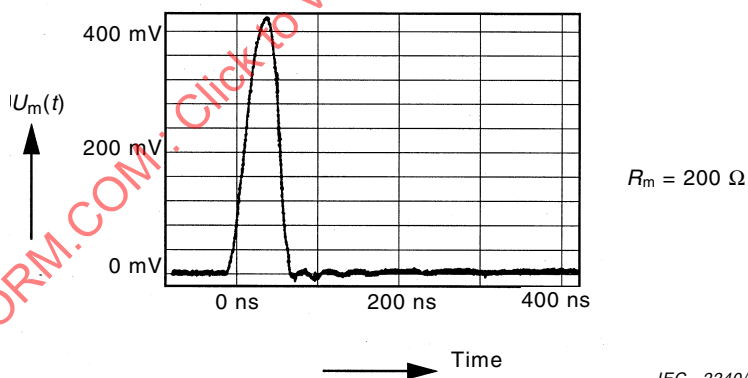
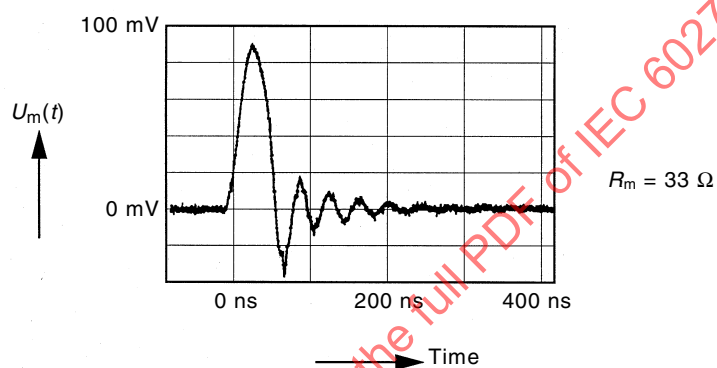
Figure A.1b – Impulsions d'étalonnage  $u_m(t)$  d'un calibre typique relié aux résistances de mesure  $R_m = 33 \Omega$  et  $R_m = 200 \Omega$  respectivement ( $q = 100 \text{ pC}$ )

Figure A.1 – Etalonnage des calibreurs d'impulsions



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

## 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.

## 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.

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.

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.