

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
270**

Deuxième édition
Second edition
1981

Mesure des décharges partielles

Partial discharge measurements



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 270: 1981

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
270**

Deuxième édition
Second edition
1981

Mesure des décharges partielles

Partial discharge measurements

© CEI 1981 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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
Articles	
1 Domaine d'application.	8
2. Objet	10
3. Définitions	10
3.1 Décharge partielle	10
3.2 Grandeurs relatives aux décharges partielles	10
3.3 Intensité de décharge partielle spécifiée.	12
3.4 Tensions en rapport avec les décharges partielles	12
4. Circuits d'essai et appareils de mesure	14
4.1 Prescriptions générales	14
4.2 Circuits d'essai	14
4.3 Appareils de mesure	18
4.4 Méthodes non électriques de détection	22
5. Etalonnage	22
5.1 Généralités	22
5.2 Détermination des caractéristiques de l'appareil de mesure	24
5.3 Etalonnage du circuit d'essai complet comportant le mesureur.	26
6. Essais	28
6.1 Prescriptions générales	28
6.2 Conditionnement de l'objet en essai	28
6.3 Prescriptions relatives à la tension d'essai	28
6.4 Choix des modalités d'essai	28
6.5 Mesures sur des câbles et sur des objets comprenant des enroulements	30
7. Précision et sensibilité de la mesure.	30
8. Perturbations	32
8.1 Sources de perturbations.	32
8.2 Détection des perturbations	32
8.3 Réduction des perturbations.	34
8.4 Niveaux de perturbation.	36
9. Prescriptions spéciales pour les mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue.	36
9.1 Généralités	36
9.2 Grandeurs relatives aux décharges partielles	38
9.3 Tensions en rapport avec les décharges partielles	38
9.4 Circuits d'essai et appareils de mesure	38
9.5 Essais	38
9.6 Perturbations	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
Clause	
1. Scope	9
2. Object	11
3. Definitions	11
3.1 Partial discharge	11
3.2 Quantities related to partial discharges	11
3.3 Specified partial discharge magnitude	13
3.4 Voltages related to partial discharges	13
4. Test circuits and measuring instruments	15
4.1 General requirements	15
4.2 Test circuits	15
4.3 Measuring instruments	19
4.4 Non-electrical methods of detection	23
5. Calibration	23
5.1 General	23
5.2 Determination of instrument characteristics	25
5.3 Calibration of the instrument in the complete test arrangement	27
6. Tests	29
6.1 General requirements	29
6.2 Conditioning of the test object	29
6.3 Requirements for the test voltage	29
6.4 Choice of test procedure	29
6.5 Measurements on cables and on test objects with windings	31
7. Measuring accuracy and sensitivity	31
8. Disturbances	33
8.1 Sources of disturbances	33
8.2 Detecting disturbances	33
8.3 Reduction of disturbances	35
8.4 Disturbance levels	37
9. Special requirements for partial discharge measurements during tests with direct voltage	37
9.1 General	37
9.2 Quantities related to partial discharges	39
9.3 Voltages related to partial discharges	39
9.4 Test circuits and measuring instruments	39
9.5 Tests	39
9.6 Disturbances	41

	Pages
ANNEXE A — Circuits d'essai	42
ANNEXE B — Grandeurs globales	46
ANNEXE C — Mesures sur des câbles et sur des objets comprenant des enroulements . . .	48
ANNEXE D — Utilisation de mesureurs de perturbations radioélectriques pour la mesure des décharges partielles	50
FIGURES	54

Withdrawing
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1981

	Page
APPENDIX A — Test circuits	43
APPENDIX B — Integrated quantities	47
APPENDIX C — Measurements on cables and on test objects with windings.	49
APPENDIX D — The use of radio interference meters for the measurement of partial discharges	51
FIGURES	54

Withd 270:1981
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1981

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MESURE DES DÉCHARGES PARTIELLES

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes N° 42 de la C E I: Technique des essais à haute tension.

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Helsinki en 1978 et à Florence en 1979. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 42(Bureau Central)31, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1980.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	France
Allemagne	Irlande
Australie	Japon
Autriche	Norvège
Belgique	Nouvelle-Zélande
Bésil	Pays-Bas
Canada	Pologne
Chine	Roumanie
Danemark	Suède
Egypte	Tchécoslovaquie
Espagne	Turquie
Etats-Unis d'Amérique	Union des Républiques
Finlande	Socialistes Soviétiques

Autre publication de la C E I citée dans la présente norme:

Publication n° 60-2: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 42: High-voltage Testing Techniques.

Drafts were discussed at the meetings held in Helsinki in 1978 and in Florence in 1979. As a result of this latter meeting, a draft, Document 42(Central Office)31, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Austria	Netherlands
Belgium	New Zealand
Brazil	Norway
Canada	Poland
China	Romania
Czechoslovakia	South Africa (Republic of)
Denmark	Spain
Egypt	Sweden
Finland	Turkey
France	Union of Soviet
Germany	Socialist Republics
Ireland	United States of America

Other IEC publication quoted in this standard:

Publication No. 60-2: High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.

MESURE DES DÉCHARGES PARTIELLES

Domaine d'application

La présente norme s'applique à la mesure des décharges partielles au cours d'essais sous tension alternative, mais les termes généraux, les définitions et les prescriptions sont également applicables, habituellement, à la mesure des décharges partielles pendant les essais sous tension continue. Quelques caractéristiques particulières aux mesures de décharges partielles sous tension continue sont données dans un article séparé et on trouvera dans le reste du texte les références nécessaires à cet article. Cette norme est destinée essentiellement à donner des lignes directrices pour l'élaboration des spécifications relatives à des matériels particuliers.

Les mesures de décharges partielles sont exécutées principalement pour :

- vérifier que l'objet en essai n'est pas le siège de décharges partielles dépassant une intensité spécifiée, à une tension spécifiée;
- déterminer les valeurs de tensions auxquelles des décharges partielles de bas niveau spécifié apparaissent à tension croissante et disparaissent à tension décroissante;
- déterminer la valeur de la grandeur choisie pour caractériser les décharges, à une tension spécifiée.

Les décharges partielles, considérées dans cette norme, sont des décharges électriques localisées dans des milieux isolants, limitées à une partie seulement du diélectrique en essai et se développant sur une partie seulement de l'intervalle entre conducteurs. Les décharges se présentent généralement sous la forme d'impulsions individuelles qui peuvent être détectées en tant qu'impulsions électriques dans le circuit extérieur relié à l'objet en essai. Il existe, cependant, une forme plus continue appelée décharge non impulsionnelle. Ce phénomène n'est normalement pas détecté à l'aide des méthodes de mesure décrites dans cette norme.

Des décharges partielles peuvent se produire dans des cavités à l'intérieur d'une isolation solide, dans des bulles gazeuses à l'intérieur d'une isolation liquide ou entre des couches d'une isolation ayant des caractéristiques diélectriques différentes. Elles peuvent également se produire sur des pointes ou sur des angles aigus de surfaces métalliques.

Quoiqu'elles ne mettent en jeu que de faibles énergies, les décharges partielles peuvent conduire à une dégradation progressive des propriétés diélectriques des matériaux isolants; la définition et l'évaluation d'une telle dégradation ne sont toutefois pas du domaine de la présente norme.

La mesure des décharges partielles sur les câbles et sur les matériels qui comportent des enroulements, tels que les transformateurs, les alternateurs et les moteurs, est compliquée par l'existence de phénomènes d'atténuation, de résonance et de propagation d'ondes mobiles. Les prescriptions propres aux essais sur de tels objets ne sont que brièvement traitées.

La présente norme traite surtout des mesures électriques des décharges partielles, mais quelques méthodes non électriques sont également mentionnées.

PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

1. Scope

This standard applies to the measurement of partial discharges during tests with alternating voltage, but general terms, definitions and requirements are usually also applicable for measurement of partial discharges during tests with direct voltage. Some special characteristics of partial discharge measurements under direct voltage are given in a separate clause and necessary references are made throughout the text. This standard is intended principally as a general guide to the drafting of specifications for specific apparatus.

Measurements of partial discharges are made for the following main purposes:

- to verify that the test object does not exhibit partial discharges greater than a specified magnitude, at a specified voltage;
- to determine the voltage amplitude at which partial discharges of a specified low magnitude commence with increasing voltage and cease with decreasing voltage;
- to determine the magnitude of the specified discharge quantity at a specified voltage.

The partial discharges which are considered in this standard are localized electrical discharges in insulating media, restricted to only a part of the dielectric under test and only partially bridging the insulation between conductors. Discharges mostly occur in the form of individual pulses, which can be detected as electrical pulses in the external circuit connected to the test object. However, a more continuous form may also occur, the so-called pulseless discharge. This form will normally not be detected by the measurement methods described in this standard.

Partial discharges may occur in cavities in solid insulation, in gas bubbles in liquid insulation or between layers of insulation with different dielectric characteristics. They may also occur at sharp edges or points of metallic surfaces.

Even though they involve only small amounts of energy, partial discharges may lead to progressive deterioration of the dielectric properties of insulating materials; the definition and evaluation of such deterioration, however, is beyond the scope of this standard.

Partial discharge measurements on cables and on apparatus having windings, such as transformers, generators and motors, are complicated by attenuation, resonance and travelling wave phenomena. Special requirements for tests on these objects are only briefly dealt with.

This standard deals mainly with electrical measurements of partial discharges, but some reference is also made to non-electrical methods.

2. Objet

Cette norme a pour objet:

- de définir les termes employés;
- de définir les grandeurs appropriées à mesurer;
- de décrire les circuits d'essai et de mesure susceptibles d'être utilisés;
- de recommander quelques types de mesure et quelques dispositifs de mesure convenant à des applications particulières;
- de recommander des méthodes d'étalonnage;
- de décrire des modalités d'essai;
- d'indiquer des méthodes permettant de distinguer les décharges partielles des perturbations externes.

3. Définitions

3.1 Décharge partielle

Au sens de la présente norme, une décharge partielle est une décharge électrique dont le trajet se développe sur une partie seulement de l'intervalle isolant séparant des conducteurs. Ces décharges peuvent être adjacentes ou non à un conducteur.

Note. — Le terme « effet de couronne » (« corona ») est parfois utilisé pour désigner des décharges partielles dans des gaz autour d'un conducteur. Ce terme ne doit pas être employé pour d'autres types de décharges partielles.

Le terme général d'« ionisation » ne doit pas être utilisé pour désigner le cas particulier des décharges partielles.

3.2 Grandeurs relatives aux décharges partielles

3.2.1 Généralités

Les décharges partielles existant dans un objet en essai, dans des conditions données, peuvent être caractérisées en utilisant différentes grandeurs mesurables telles que la charge, la fréquence de répétition, etc. Les résultats quantitatifs des mesures sont exprimés au moyen de l'une ou de plusieurs des grandeurs particulières choisies. Pour les essais sous tension continue, voir l'article 9.

3.2.2 Charge apparente q

La charge apparente q d'une décharge partielle est la charge qui, si elle était injectée instantanément entre les bornes de l'objet en essai, changerait momentanément la tension entre ses bornes de la même quantité que la décharge partielle elle-même. La charge apparente est exprimée en picocoulombs.

Notes 1. — La charge apparente n'est pas égale à la valeur de la charge réellement mise en jeu à l'endroit de la décharge et qui ne peut être mesurée directement.

2. — En pratique, la forme de la tension créée aux bornes de l'objet en essai par la décharge partielle peut être différente de celle qui résulte de l'impulsion d'étalonnage. La charge apparente est considérée comme étant la charge qui, si elle était injectée entre les bornes de l'objet en essai, donnerait la même lecture sur l'appareil de mesure que la décharge partielle elle-même. Les cas où l'objet en essai donne lieu à des phénomènes de propagation ou d'atténuation constituent des cas particuliers, voir l'annexe C.

2. Object

The objects of this standard are:

- to define the terms used;
- to define the relevant quantities to be measured;
- to describe test and measuring circuits which may be used;
- to recommend some types of measurement and instrumentation suitable for particular applications;
- to recommend methods for calibration;
- to describe test procedures;
- to give some assistance concerning the discrimination of partial discharges from external interference.

3. Definitions

3.1 *Partial discharge*

A partial discharge, within the terms of this standard, is an electric discharge that only partially bridges the insulation between conductors. Such discharges may, or may not, occur adjacent to a conductor.

Note. — Partial discharges in gases around a conductor are sometimes referred to as “corona”. This term should not be applied to other forms of partial discharges.

The general term “ionization” should not be used to denote the particular case of partial discharges.

3.2 *Quantities related to partial discharges*

3.2.1 *General*

Partial discharges occurring in any test object under given conditions may be characterized by different measurable quantities such as charge, repetition rate, etc. Quantitative results of measurements are expressed in terms of one or more of the specified quantities. For tests with direct voltage, see Clause 9.

3.2.2 *Apparent charge q*

The apparent charge q of a partial discharge is that charge which, if injected instantaneously between the terminals of the test object, would momentarily change the voltage between its terminals by the same amount as the partial discharge itself. The apparent charge is expressed in picocoulombs.

Notes 1. — The apparent charge is not equal to the amount of charge locally involved at the site of the discharge and which cannot be directly measured.

2. — In practice, the waveform of the voltage appearing across the terminals of the test object due to the partial discharge itself may be different from that produced by the calibrating pulse. The apparent charge is considered to be that charge which, if injected between the terminals of the test object, will give the same reading on the measuring instrument as the partial discharge itself. Special cases are those in which the test objects include travelling wave or attenuation phenomena, see Appendix C.

3.2.3 Fréquence de répétition n

La fréquence de répétition n des impulsions de décharge partielle est le nombre moyen par seconde d'impulsions dues aux décharges partielles, mesurées pendant une durée déterminée.

Note. — En pratique, on peut ne considérer que les impulsions dépassant une amplitude spécifiée ou comprises dans les limites d'une gamme d'amplitudes spécifiée. Les résultats sont parfois exprimés sous forme de courbes de répartition cumulée de la fréquence de répétition en fonction de l'amplitude des décharges partielles.

3.2.4 Grandeurs globales

Pour certaines applications, on utilise des grandeurs globales qui sont caractérisées par des sommations sur un intervalle de temps T . Cet intervalle de temps est souvent long par rapport à la durée d'une période d'une tension alternative appliquée à l'objet en essai.

Ces grandeurs sont par exemple:

- le courant de décharges moyen I ,
c'est la somme des valeurs absolues des charges apparentes, pendant un certain intervalle de temps, divisée par cet intervalle de temps;
- le débit quadratique D ,
c'est la somme des carrés des charges apparentes, pendant un certain intervalle de temps, divisée par cet intervalle de temps;
- la puissance de décharge P ,
c'est la puissance moyenne fournie à l'objet en essai, à ses bornes, en raison des décharges partielles.

Pour plus de détails, voir l'annexe B.

3.3 Intensité de décharge partielle spécifiée

L'intensité de décharge partielle spécifiée est la valeur de la grandeur caractérisant les décharges qui est choisie dans les normes ou spécifications pour l'objet en essai concerné à une tension spécifiée.

3.4 Tensions en rapport avec les décharges partielles

Au cours des essais de décharges partielles, les valeurs de tension sont données par leurs valeurs de crête divisées par $\sqrt{2}$ dans le cas de tensions alternatives. Les valeurs suivantes présentent un intérêt particulier. Pour les essais sous tension continue, voir l'article 9.

3.4.1 Tension d'apparition des décharges partielles U_i

La tension d'apparition des décharges partielles U_i est la tension la plus basse à laquelle des décharges partielles sont observées avec le dispositif d'essai lorsque la tension appliquée à l'objet en essai est augmentée progressivement à partir d'une valeur inférieure pour laquelle de telles décharges ne sont pas observées.

En pratique, la tension d'apparition U_i est la tension la plus basse à laquelle l'intensité des décharges devient égale ou supérieure à une valeur faible spécifiée.

3.4.2 Tension d'extinction des décharges partielles U_e

La tension d'extinction des décharges partielles U_e est la tension la plus basse à laquelle des décharges partielles sont observées avec le dispositif d'essai lorsque la tension appliquée à l'objet en essai est diminuée progressivement à partir d'une valeur supérieure pour laquelle de telles décharges sont observées.

3.2.3 Repetition rate n

The partial discharge pulse repetition rate n is the average number of partial discharge pulses per second measured over a selected time.

Note. — In practice, only pulses above a specified magnitude or within a specified range of magnitudes, may be considered. The results are sometimes expressed as cumulative frequency distribution curves of partial discharge magnitudes.

3.2.4 Integrated quantities

For particular purposes integrated quantities which are characterized by summations over a time interval T are in use. This time interval is often long compared with the duration of one cycle of an alternating voltage applied to the test object.

Examples of such quantities are:

- the average discharge current I ,
this is the sum of the absolute values of the apparent charges during a certain time interval divided by this time interval;
- the quadratic rate D ,
this is the sum of the squares of the apparent charges, during a certain time interval, divided by this time interval;
- the discharge power P ,
this is the average power fed into the terminals of the test object due to partial discharges.

For particulars, see Appendix B.

3.3 Specified partial discharge magnitude

The specified partial discharge magnitude is the value of the partial discharge quantity stated in standards or specifications for the given test object at a specified voltage.

3.4 Voltages related to partial discharges

Voltage values during partial discharge tests are given by their peak values divided by $\sqrt{2}$ in the case of alternating voltages. The following voltages are of particular interest. For tests with direct voltages, see Clause 9.

3.4.1 Partial discharge inception voltage U_i

The partial discharge inception voltage U_i is the lowest voltage at which partial discharges are observed in the test arrangement, when the voltage applied to the object is gradually increased from a lower value at which no such discharges are observed.

In practice, the inception voltage U_i is the lowest voltage at which the partial discharge magnitude becomes equal to or exceeds a specified low value.

3.4.2 Partial discharge extinction voltage U_e

The partial discharge extinction voltage U_e is the lowest voltage at which partial discharges are observed in the test arrangement when the voltage applied to the object is gradually decreased from a higher value at which such discharges are observed.

En pratique, la tension d'extinction U_e est la tension la plus basse à laquelle l'intensité des décharges devient égale ou inférieure à une valeur faible spécifiée.

3.4.3 Tension d'essai de décharges partielles

La tension d'essai de décharges partielles est une tension spécifiée, appliquée suivant une procédure d'essai spécifiée, durant laquelle l'objet en essai ne doit pas présenter de décharges partielles excédant une intensité spécifiée.

4. Circuits d'essai et appareils de mesure

4.1 Prescriptions générales

Dans cet article, différents types de circuits d'essai et d'appareils de mesure de décharges partielles sont brièvement décrits. Quel que soit le type de circuit d'essai et d'appareil de mesure utilisé, ceux-ci doivent être étalonnés comme spécifié à l'article 5 et doivent satisfaire aux exigences spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé (articles 6 et 7). Le Comité d'Etudes intéressé doit spécifier la ou les grandeurs à mesurer. Tout appareil mesurant cette ou ces grandeurs est en général considéré comme acceptable. Le Comité peut également recommander l'utilisation d'un circuit d'essai particulier. Sauf indication contraire du Comité d'Etudes intéressé, l'un quelconque des circuits mentionnés au paragraphe 4.2 et l'un quelconque des mesureurs mentionnés au paragraphe 4.3 sont acceptables.

Pour les essais sous tension continue, voir l'article 9.

Les méthodes non électriques de détection des décharges partielles ne sont pas recommandées pour les mesures quantitatives, mais elles sont utiles pour des besoins spéciaux, par exemple la localisation des décharges; aussi, quelques indications sont-elles données à leur sujet au paragraphe 4.4.

4.2 Circuits d'essai

La plupart des circuits utilisés pour la mesure de décharges partielles peuvent être dérivés de l'un ou l'autre des trois circuits de base représentés aux figures 1a, 1b, et 1c, page 54; des variantes de ces circuits sont représentées aux figures 2 et 3, page 55. Chacun de ces circuits se compose principalement de:

- un objet en essai qui, dans de nombreux cas, peut être considéré comme une capacité C_a (voir cependant l'annexe C);
- un condensateur de liaison C_k ou un deuxième objet en essai C_{a1} ;
- un circuit de mesure composé de l'impédance de mesure Z_m (et parfois d'une deuxième impédance Z_{m1}), du câble de liaison et de l'appareil de mesure;
- parfois une impédance ou un filtre Z pour empêcher que les impulsions dues aux décharges soient court-circuitées par la source à haute tension et pour réduire les perturbations provenant de la source.

Les caractéristiques particulières des différentes dispositions du circuit sont traitées dans l'annexe A.

Des décharges partielles dans l'objet en essai provoquent des transferts de charges dans le circuit d'essai, produisant des impulsions de courant à travers l'impédance de mesure. Cette impédance détermine, avec l'objet en essai et le condensateur de liaison, la durée et la forme des

In practice, the extinction voltage U_e is the lowest voltage at which the partial discharge magnitude becomes equal to or less than a specified low value.

3.4.3 *Partial discharge test voltage*

The partial discharge test voltage is a specified voltage, applied in a specified test procedure, during which the test object should not exhibit partial discharges exceeding a specified magnitude.

4. Test circuits and measuring instruments

4.1 *General requirements*

In this clause, various types of test circuits and instruments for the measurement of partial discharges are briefly described. Whatever type of test circuit and measuring instrument is used, they should be calibrated as specified in Clause 5 and should meet the requirements specified by the relevant Technical Committee (Clauses 6 and 7). The relevant Technical Committee shall specify the particular quantity or quantities to be measured. Any instrument measuring this quantity or quantities is in general considered acceptable. The Committee may also recommend a particular test circuit to be used. If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, any of the test circuits mentioned in Sub-clause 4.2 and any of the instruments mentioned in Sub-clause 4.3 are acceptable.

For tests with direct voltages, see Clause 9.

Non-electrical methods of partial discharge detection are not recommended for quantitative measurements, but they are useful for special purposes, for example, discharge location. Some information is therefore given in Sub-clause 4.4.

4.2 *Test circuits*

Most circuits in use for partial discharge measurements can be derived from one or other of the three basic circuits, which are shown in Figures 1a, 1b and 1c, page 54; some variations of these circuits are shown in Figures 2 and 3, page 55. Each of these circuits consists mainly of:

- a test object which, in many cases, can be regarded as a capacitance C_a (see however, Appendix C);
- a coupling capacitor C_k or a second test object C_{a1} ;
- a measuring circuit consisting of the measuring impedance Z_m (and sometimes a second impedance Z_{m1}), the connecting lead and the measuring instrument;
- sometimes an impedance or filter Z to prevent discharge pulses from being bypassed through the high-voltage supply and to reduce interference from the source.

The particular characteristics of the different circuit arrangements are considered in Appendix A.

Partial discharges in the test object cause charge transfer in the test circuit giving rise to current pulses through the measuring impedance. This impedance, in combination with the test object and coupling capacitor, determines the duration and shape of the measured voltage

impulsions de tension mesurées. Ces impulsions sont ensuite mises en forme et amplifiées de façon à fournir à un appareil de mesure une valeur proportionnelle à la grandeur «charge apparente».

4.2.1 Caractéristiques du circuit de mesure

D'après la bande de fréquences de la mesure, les circuits de mesure peuvent être classés en deux groupes: à bande large et à bande étroite. La bande passante du circuit de mesure est normalement fixée par le mesureur.

Les caractéristiques des circuits de mesure sont définies à l'aide des paramètres suivants:

a) Fréquences de coupure inférieure et supérieure f_1 et f_2

Les fréquences de coupure inférieure et supérieure f_1 et f_2 sont les fréquences pour lesquelles la réponse à une tension d'entrée sinusoïdale constante a diminué d'une quantité donnée, habituellement 3 dB par rapport à la valeur constante pour les circuits à bande large et 6 dB par rapport à la valeur de crête pour les circuits à bande étroite.

b) Fréquence de résonance f_0

Lorsqu'une réponse présente une pointe de résonance (circuit ou appareil de mesure à bande étroite), la fréquence correspondante est appelée fréquence de résonance f_0 .

c) Bande passante Δf

Pour les mesureurs à bande étroite comme pour les mesureurs à bande large, la bande passante est définie par:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

Pour les mesures en bande large, Δf est habituellement du même ordre de grandeur que f_2 alors qu'elle est notablement plus faible que f_0 pour les mesures en bande étroite.

d) Temps de résolution des impulsions

Le temps de résolution est le plus court intervalle de temps entre deux impulsions consécutives qui provoque une erreur d'amplitude n'excédant pas 10%, par suite de la superposition due au rapprochement des impulsions.

Le temps de résolution est inversement proportionnel à la bande passante du circuit de mesure.

4.2.2 Coefficient de conversion du circuit d'essai k_c

Le coefficient de conversion k_c est le coefficient par lequel il faut multiplier la valeur lue pour obtenir l'intensité des décharges partielles correspondant à la grandeur mesurée. Le coefficient de conversion k_c n'est pas le même que le coefficient de conversion k_i du mesureur seul. Voir le paragraphe 4.3.1.

4.2.3 Impédance de mesure

L'impédance de mesure se comporte généralement comme un quadripôle dont la réponse en fréquence est choisie de telle sorte que la fréquence de la tension d'essai ne puisse être transmise au mesureur. Cela peut être obtenu dans le cas d'une impédance résistive en branchant une inductance en parallèle sur cette résistance ou en insérant un condensateur en série entre la résistance de mesure et le câble de liaison. L'impédance de mesure peut être constituée d'une résistance, d'une résistance et d'un condensateur en parallèle, d'un circuit accordé ou de dispositifs filtrants plus complexes. Pour les circuits de mesure à bande étroite, l'impédance de mesure est souvent accordée à la fréquence de mesure du mesureur.

pulses. These pulses are further shaped and amplified in order to supply to a measuring instrument a value proportional to the apparent charge quantity.

4.2.1 *Measuring circuit characteristics*

Depending on the frequency range of the measurement, the measuring circuits can be classified into two groups: wideband and narrow-band. The wideband or narrow-band characteristics of the measuring circuit are normally determined by the instrument.

Characteristics of the measuring circuits are defined by the following parameters:

a) *Lower and upper cut-off frequencies f_1 and f_2*

The lower and upper cut-off frequencies f_1 and f_2 are the frequencies at which the response to a constant sinusoidal input voltage has fallen by a fixed amount, usually 3 dB, from the constant value in the case of wideband circuits and 6 dB from the peak value in the case of narrow-band circuits.

b) *Resonance frequency f_0*

When the responses show a resonance peak (narrow-band circuits or instruments) the corresponding frequency is called the resonance frequency f_0 .

c) *Bandwidth Δf*

For both narrow-band and wideband instruments, the bandwidth is defined by:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

For wideband responses Δf is usually of the same order of magnitude as f_2 whereas it is substantially smaller than f_0 for narrow-band responses.

d) *Pulse resolution time*

The pulse resolution time is the shortest time interval between two consecutive pulses which results in an amplitude error of not more than 10% due to superposition caused by the overlapping of the pulses.

The pulse resolution time is inversely proportional to the bandwidth of the measuring circuit.

4.2.2 *Scale factor of the test circuit k_c*

The scale factor k_c is the factor by which the reading of the instrument shall be multiplied to obtain the magnitude of the measured partial discharge quantity. The scale factor k_c is not the same as the scale factor k_i for the instrument alone. See Sub-clause 4.3.1.

4.2.3 *Measuring impedance*

The measuring impedance usually acts as a four-terminal network with a frequency response chosen to prevent the test supply frequency from reaching the instrument. This may be achieved in the case of a resistive impedance by connecting an inductor in parallel with the resistor, or, by connecting a capacitor in series between the measuring resistor and the connecting lead to the instrument. The measuring impedance may consist of a resistor, a resistor in parallel with a capacitor, a tuned circuit or a more complex filter design. For narrow-band measuring circuits, tuning of the measuring impedance to the measuring frequency of the instrument is often used.

4.2.4 Condensateur de liaison

Le condensateur de liaison doit avoir une faible inductance et sa fréquence de résonance ne doit pas être inférieure à $3 f_2$.

De plus, le condensateur de liaison ne doit pas être le siège de décharges partielles significatives à la tension d'essai.

4.3 Appareils de mesure

Les appareils de mesure des décharges partielles existants peuvent être classés de différentes façons. Dans les paragraphes 4.3.1 à 4.3.7, les principales prescriptions les concernant sont résumées en fonction des grandeurs à mesurer (définies au paragraphe 3.2).

Quelle que soit la forme de l'indication donnée par l'appareil de mesure, il est recommandé d'utiliser en outre un oscilloscope, car il facilite la distinction entre différents types de décharges partielles ainsi qu'entre les décharges à mesurer et les perturbations extérieures.

Dans le cas des essais sous tension continue, voir l'article 9.

4.3.1 Coefficient de conversion du mesureur k_i

Le coefficient de conversion k_i du mesureur est le coefficient par lequel il faut multiplier la valeur lue pour obtenir l'intensité de décharge injectée dans le mesureur pendant son étalonnage.

4.3.2 Appareils de mesure de la charge apparente q

Les impulsions de courant dues aux décharges partielles engendrent un signal aux bornes de l'impédance de mesure. Pour des impulsions de courant de courte durée, ce signal est une impulsion de tension dont la valeur de crête est proportionnelle à la charge apparente de l'objet en essai.

Ces impulsions individuelles peuvent être visualisées sur un oscilloscope à rayons cathodiques et l'intensité de la charge apparente est déterminée par l'étalonnage. On peut observer les impulsions avec une base de temps linéaire déclenchée, par exemple, par les décharges ou la tension d'essai. Il peut également être commode d'utiliser une base de temps elliptique parcourue en synchronisme avec la tension d'essai.

Lors d'un essai réel, la valeur retenue pour la charge apparente est généralement celle qui correspond à la plus grande des impulsions se reproduisant périodiquement. L'amplitude des plus grandes impulsions dues aux décharges peut être mesurée directement sur l'oscilloscope ou au moyen d'un mesureur de valeur de crête approprié.

Le temps de résolution du mesureur est acceptable si aucune erreur d'amplitude ne se produit en raison de la superposition des impulsions lorsque celles-ci sont espacées d'au moins 100 μ s. Des temps de résolution beaucoup plus courts sont toutefois souhaitables et peuvent être obtenus avec des mesureurs existants. Les constantes de temps du mesureur de crête peuvent également être la cause d'erreurs dans le cas où la fréquence de répétition des décharges est faible.

Notes 1. — Pour certains types de décharges, ou bien par suite de la présence d'éléments capacitifs dans le circuit de mesure, les impulsions de courant peuvent être allongées. Pour les impulsions de plus longue durée, la charge apparente relative à l'objet en essai est alors proportionnelle à l'intégrale de l'impulsion de tension.

2. — La répartition de la fréquence de répétition des impulsions en fonction de leur amplitude peut être déterminée au moyen de compteurs d'impulsions (paragraphe 4.3.3).

4.2.4 *Coupling capacitor*

The coupling capacitor shall be of a low inductance design and its resonant frequency shall be not less than $3 f_2$.

In addition, the coupling capacitor shall not exhibit any significant partial discharges at the test voltage.

4.3 *Measuring instruments*

Instruments available for partial discharge measurements may be classified in various ways. In Sub-clauses 4.3.1 to 4.3.7, their main requirements are summarized in accordance with the quantities to be measured (defined in Sub-clause 3.2).

Whatever other form of indication may be given by the measuring instrument, it is recommended that an oscilloscope should also be used as this assists in distinguishing between different types of partial discharges and between the discharges to be measured and extraneous disturbances.

See Clause 9 for the case of tests with direct voltages.

4.3.1 *Scale factor of the measuring instrument k_i*

The scale factor k_i is the factor by which the reading of the instrument shall be multiplied in order to obtain the magnitude of the discharge quantity injected into the instrument during its calibration.

4.3.2 *Instruments for the measurement of apparent charge q*

The current pulses due to partial discharges produce a signal at the terminals of the measuring impedance. For short duration current pulses, the signal produced is a voltage pulse whose peak value is proportional to the apparent charge of the test object.

The individual pulses may be displayed on a cathode-ray oscilloscope and the magnitude of the apparent charge can be determined by calibration. The pulses can be displayed on a linear time-base which is triggered, for example, by the discharge pulse or by the test voltage. It may also be convenient to display the pulses on an elliptical time-base which rotates synchronously with the test voltage frequency.

The magnitude of the apparent charge which is measured during an actual test is generally understood to be that associated with the largest repeatedly occurring pulse. The magnitude of the largest discharge pulses can be measured directly on the oscilloscope or by a suitable peak meter.

The resolution time of the instrument is acceptable if no error in amplitude measurement occurs due to overlapping of pulses when these are at least $100 \mu\text{s}$ apart. Resolution times much shorter than this are desirable, however, and can be obtained with available instruments. Errors may also occur due to the time constants of the peak meter if the pulse repetition rate is low.

Notes 1. — Owing to the nature of the partial discharge, or to capacitive elements in the measuring circuit, the current pulses may be lengthened. Then, for the longer pulses, the apparent charge at the test object is proportional to the integral of the voltage pulse.

2. — The distribution of the repetition rates which are related to different pulse magnitudes can be determined using pulse counters (Sub-clause 4.3.3).

4.3.3 Appareils de mesure de la fréquence de répétition des impulsions n

Tout type de compteur d'impulsions ou de mesureur de fréquence de répétition indiquant soit le nombre total d'impulsions en un temps donné, soit le nombre moyen par seconde, pour toutes les amplitudes mesurées ou pour une gamme donnée d'amplitudes, peut être utilisé pour la mesure de la fréquence de répétition n , pourvu que son temps de résolution soit suffisamment court. Généralement, un tel appareil comporte un discriminateur qui élimine les impulsions inférieures à une valeur réglable prédéterminée.

Quelques précautions sont nécessaires pour éviter de compter plusieurs fois chaque impulsion si les impulsions arrivant au compteur sont oscillatoires ou bidirectionnelles.

4.3.4 Appareils de mesure du courant de décharges moyen I

En principe, des appareils qui mesurent la valeur moyenne des impulsions de courant dues aux décharges, après amplification linéaire et redressement, indiqueront, moyennant un étalonnage approprié, la valeur du courant de décharges moyen I , tel qu'il est défini au paragraphe 3.2.4. Des précautions sont nécessaires pour éviter des erreurs difficilement décelables dues soit à la saturation de l'amplificateur aux faibles valeurs de la fréquence de répétition n , soit à la superposition d'impulsions oscillatoires pour les grandes valeurs de n .

4.3.5 Appareils de mesure du débit quadratique D

Des appareils qui mesurent la valeur moyenne des carrés des amplitudes de décharge, par seconde, indiqueront le débit quadratique D , tel qu'il est défini au paragraphe 3.2.4. La mesure peut s'effectuer en faisant passer les impulsions amplifiées à travers un dispositif redresseur à réponse quadratique et en extrayant la composante continue ainsi formée; ou bien elle peut s'effectuer aussi en faisant passer les impulsions délivrées par un amplificateur linéaire dans un détecteur thermique. Les caractéristiques de saturation du mesureur requièrent une attention particulière.

4.3.6 Montages de mesure de la puissance des décharges P

Différents types de circuits d'essai et de mesureurs sont utilisables pour la mesure de la puissance des décharges. Ils comprennent habituellement la mesure de la surface d'un tracé oscilloscopique ou font appel à des techniques plus complexes. L'étalonnage de tels circuits d'essai et mesureurs est fondé sur la détermination des coefficients de conversion pour la tension appliquée et pour la charge apparente.

4.3.7 Utilisation de mesureurs de perturbations radioélectriques pour la mesure des décharges partielles

Les mesureurs de perturbations radioélectriques sont des voltmètres sélectifs en fréquence. Ces appareils ont été, à l'origine, conçus pour mesurer les perturbations causées à la réception des émissions radiophoniques. A cause de leurs caractéristiques spéciales, les mesureurs de perturbations radioélectriques n'indiquent directement aucune des grandeurs relatives aux décharges partielles qui sont définies dans la présente norme (paragraphe 3.2), mais ils donnent une indication générale de l'intensité de décharges lorsqu'on utilise leur détection de quasi-crête et lorsque l'étalonnage est réalisé conformément au paragraphe 5.3. Voir aussi l'annexe D.

L'indication fournie par ces appareils est sensible à la fréquence de répétition des impulsions de décharge. On peut utiliser ce type de mesureur à condition que la fréquence de répétition des impulsions soit supérieure à 50 par seconde.

4.3.3 *Instruments for the measurement of pulse repetition rate n*

Any kind of pulse counter or rate meter indicating either the total number of pulses in a given time or the average number per second for all amplitudes measured or for given amplitude ranges can be used for measurement of the repetition rate, n , provided that the resolution time is sufficiently short. Usually, such counting instruments incorporate magnitude discriminators which suppress pulses below an adjustable predetermined magnitude.

Some care is needed to avoid obtaining more than one count per pulse if the pulses reaching the counter are oscillatory or bi-directional.

4.3.4 *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 as defined in Sub-clause 3.2.4. Precautions are necessary to avoid undetected errors either due to amplifier overloading at low discharge repetition rates n or to overlapping of oscillatory pulses when n is large.

4.3.5 *Instruments for the measurement of quadratic rate D*

Instruments which measure the mean square value of the discharge magnitudes per second will indicate the quadratic rate D as defined in Sub-clause 3.2.4. The measurement can be made by passing the amplified pulses through a rectifier giving square law response and deriving the resulting mean d.c. component; or alternatively, it can be made by passing the pulses from a linear amplifier into a thermal detector. The overload characteristics of the instruments require special consideration.

4.3.6 *Arrangements for the measurement of discharge power P*

Different types of test circuits and instruments are possible for the measurement of discharge power. They are usually based on the measurement of the area of an oscilloscope display or on 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.

4.3.7 *Use of radio interference meters for the measurement of partial discharges*

Radio interference meters are frequency selective voltmeters. The instruments are primarily intended for measuring interference caused to reception of broadcast radio signals. Because of their special characteristics, radio interference meters do not directly indicate any of the partial discharge quantities defined in this standard (Sub-clause 3.2) but they give a general indication of discharge magnitude when used on the quasi-peak setting and calibrated according to Sub-clause 5.3. See also Appendix D.

The reading is sensitive to the repetition rate of the discharge pulses. It may be used provided that the pulse repetition rate is greater than 50 per second.

4.4 Méthodes non électriques de détection

Parmi les méthodes non électriques de détection de décharges partielles, il faut mentionner les méthodes acoustiques et optiques, ainsi que l'observation, lorsqu'elle peut être faite après l'essai, des effets de décharges sur l'objet en essai.

Ces méthodes ne conviennent généralement pas pour des mesures quantitatives de décharges partielles et sont essentiellement utilisées pour localiser les décharges.

4.4.1 Détection acoustique

Des essais de perception auditive, faits dans une salle à faible niveau de bruit, peuvent être utilisés comme moyen de détection des décharges partielles.

Des mesures acoustiques non subjectives, généralement faites avec des microphones ou d'autres transducteurs et des oscilloscopes, peuvent aussi être utiles, particulièrement pour localiser les décharges. Des microphones à sélectivité directionnelle et à haute sensibilité dans le domaine des fréquences ultrasonores conviennent pour localiser des décharges dues à l'effet de couronne dans l'air. Des transducteurs associés à des oscilloscopes cathodiques peuvent également être utilisés pour localiser des décharges dans les matériels immergés dans l'huile tels que les transformateurs; il peuvent être situés à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve à huile.

4.4.2 Détection visuelle ou optique

Les observations visuelles se font dans une salle obscure, après l'adaptation des yeux à l'obscurité et, au besoin, à l'aide de jumelles à grande ouverture. On peut également faire un enregistrement photographique, mais des temps d'exposition assez longs sont généralement nécessaires. Des photo-multiplicateurs ou des convertisseurs d'image sont parfois utilisés pour des applications particulières.

4.4.3 Observation des traces

Les traces de cheminement laissées par les décharges peuvent donner des renseignements utiles sur leur situation et leur étendue lorsque l'examen peut en être fait après l'essai. Cette observation peut être facilitée par un éclairage en lumière ultra-violette.

4.4.4 Gaz dissous dans l'huile

La présence de décharges partielles dans des matériels à isolation dans l'huile peut, dans certains cas, être détectée par l'analyse des gaz dissous dans l'huile. Il s'agit généralement d'un phénomène lent et cette mesure n'est pas utilisée lors des essais diélectriques normaux.

5. Etalonnage

5.1 Généralités

L'étalonnage comprend deux opérations distinctes; l'une consiste en une détermination complète des caractéristiques de l'appareil de mesure proprement dit, y compris un étalonnage détaillé, et doit être effectuée après toute réparation importante ou au moins une fois par an; l'autre est un étalonnage du circuit d'essai complet comportant le mesureur, qui doit être effectué systématiquement avant chaque essai sauf, toutefois, lors d'essais de nombreux objets identiques; dans ce dernier cas, les étalonnages peuvent être plus espacés, la périodicité convenable devant être déterminée par l'utilisateur. Ce dernier étalonnage doit comprendre la vérification que le mesureur, tel qu'il est utilisé dans le circuit d'essai, est capable de mesurer l'intensité de décharges minimale spécifiée par le Comité d'Etudes intéressé (paragraphe 6.1).

4.4 *Non-electrical methods of detection*

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

In general, these methods are not suitable for quantitative measurements of partial discharges and are essentially used to locate the discharges.

4.4.1 *Acoustic detection*

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

Non-subjective acoustical measurements, usually made with microphones or other transducers and oscilloscopes, may also be useful, particularly for locating the discharges. Directionally selective microphones with high sensitivity above the audible frequency range are useful for locating corona discharges in air. Transducers in combination with oscilloscopes may also be used for locating discharges in oil-immersed equipment such as transformers; they may be either inside or outside the oil tank.

4.4.2 *Visual or optical detection*

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

4.4.3 *Observations of tracking*

Tracking marks which have been left by discharges may give useful information on the location and extent of discharges when subsequent inspection is possible. Observation may be assisted by the use of ultra-violet light.

4.4.4 *Dissolved gases in oil*

The presence of partial discharges in oil-insulated apparatus may be detected in some cases by the analysis of the gases dissolved in the oil. This is usually a long duration phenomenon and the measurement is not associated with normal dielectric tests.

5. **Calibration**

5.1 *General*

Calibration involves two separate procedures; one is a complete determination of the characteristics of the measuring instrument itself including a detailed calibration and should be performed after major repairs or at least once per year, the other is a routine calibration of the instrument in the complete test circuit and should be performed before every test or, if many identical test objects are being tested then it may be performed at suitable intervals to be determined by the user. The latter calibration should include a verification that the instrument, as used in the test circuit, will be able to measure the minimum discharge level which has been specified by the relevant Technical Committee (Sub-clause 6.1).

Quelques méthodes d'étalonnage sont décrites aux paragraphes 5.2 et 5.3; d'autres méthodes peuvent être utilisées si leur validité est démontrée.

5.2 Détermination des caractéristiques de l'appareil de mesure

La détermination des caractéristiques et l'étalonnage de l'appareil de mesure doivent être faits pour toutes ses gammes de mesures, dans les conditions de référence indiquées par la notice du constructeur ou par les normes applicables.

L'impédance de mesure Z_m et les câbles de liaison font partie intégrante du mesureur et doivent être englobés dans l'étalonnage.

Les caractéristiques suivantes doivent être déterminées:

- variation du coefficient de conversion k_i en fonction de l'amplitude des impulsions à une faible fréquence de répétition (de l'ordre de 100 par seconde);
- temps de résolution des impulsions, obtenu en appliquant des impulsions constantes avec une fréquence de répétition croissante;
- fréquences de coupure inférieure et supérieure f_1 et f_2 ;
- stabilité et précision des dispositifs d'étalonnage.

Ces caractéristiques peuvent être considérées comme acceptables si leur valeur n'a pas changé en une année de plus de quelques pour-cent. Il n'est alors pas nécessaire de procéder à l'étalonnage plus souvent.

Les erreurs maximales permises pour les appareils de mesure des décharges partielles sont habituellement plus élevées que pour les autres appareils de mesure.

5.2.1 Etalonnage des appareils de mesure de la charge apparente q

L'étalonnage réalisé en vue de déterminer le coefficient de conversion k_i d'un appareil de mesure de la charge apparente q de décharges individuelles s'effectue en faisant passer de courtes impulsions de courant, de charge appropriée quelconque mais connue q_0 à travers l'impédance de mesure Z_m . De telles impulsions peuvent être produites par un générateur émettant des échelons de tension rectangulaires d'amplitude U_0 , en série avec une petite capacité connue C_0 . Dans ces conditions, l'impulsion d'étalonnage est équivalente à une décharge d'amplitude:

$$q_0 = U_0 C_0$$

En pratique, il se peut qu'il ne soit pas possible de produire des échelons de tension idéaux et, bien que d'autres formes de tensions avec des temps de montée plus longs et des temps de queue finis puissent injecter sensiblement la même charge, les réponses du circuit de détection seront différentes à cause des différences de durée des impulsions de courant.

L'échelon d'étalonnage doit avoir un temps de montée tel que l'impulsion de courant injectée à travers C_0 soit de courte durée par rapport à $1/f_2$ et ce temps de montée ne doit pas dépasser 0,1 μ s. Un temps de décroissance de l'ordre de 100 μ s à 1 000 μ s conviendra généralement.

Pour l'obtention des impulsions d'étalonnage à faible temps de montée, on emploie couramment de petits générateurs alimentés par des piles et utilisant des transistors ou des relais à contacts mouillés de mercure. Lorsqu'il n'est pas possible de contrôler séparément les paramètres principaux (U_0 , C_0) du générateur d'impulsions, un contrôle fonctionnel doit être effectué par comparaison avec un montage constitué d'un générateur d'échelons de tension en série avec une capacité connue. Des précautions doivent être prises pour s'assurer que la mesure de cette capacité n'est pas perturbée par des capacités parasites.

Some methods for calibration are described in Sub-clauses 5.2 and 5.3; other methods may be used if their applicability is demonstrated.

5.2 *Determination of instrument characteristics*

The determination of the characteristics and the calibration of the measuring instrument should be made on all its ranges of measurement, in the conditions given by manufacturer specifications or by applicable standards.

The measuring impedance Z_m and any connecting cables should be included in the calibration of the instrument.

The following characteristics should be determined:

- variation of scale factor k_i to pulses of different amplitude at low repetition rate (about 100 per second);
- pulse resolution time, by applying pulses of constant magnitude at increasing repetition rate;
- lower and upper cut-off frequencies, f_1 and f_2 ;
- stability and accuracy of the calibrating devices.

The characteristics may be considered acceptable if their values have not changed by more than a few per cent in one year. In this case the calibration is usually not necessary at shorter intervals.

The error limits allowed for partial discharge measuring instruments are usually larger than in other measurements.

5.2.1 *Calibration of instruments measuring apparent charge q*

Calibration to determine the scale factor k_i of an instrument for the measurement of the apparent charge q of single partial discharges is carried out by passing short current pulses of any convenient but known charge magnitude, q_o , through the measuring impedance Z_m . Such pulses may be produced by means of a generator giving rectangular step voltages of amplitude U_o , in series with a small known capacitance C_o . Under these conditions, the calibration pulse is equivalent to a discharge of magnitude:

$$q_o = U_o C_o$$

In practice, it may not be possible to produce ideal step voltage pulses and, even though other waveforms having slower rise times and finite decay times may inject essentially the same amount of charge, the detection circuit responses will be different due to the different durations of the corresponding current pulses.

The calibration pulse should have a rise time such that the duration of the current pulse through C_o is short compared with $1/f_2$ and this rise time shall be not more than $0.1 \mu s$. A decay time in the range of $100 \mu s$ to some $1\,000 \mu s$ will usually be suitable.

As a source of calibration pulses with short fronts, small battery-operated pulse generators are in common use, employing either transistors or relays with mercury wetted contacts. When the main parameters (U_o , C_o) of the pulse generator cannot be separately checked, then a functional check shall be made by comparison with an arrangement comprising a step voltage generator in series with a known capacitance. Precautions should be taken to ensure that the measurement of this capacitance is not disturbed by the presence of stray capacitances.

5.2.2 Etalonnage des appareils de mesure des grandeurs globales

On peut utiliser un générateur semblable à celui qui est décrit au paragraphe 5.2.1, délivrant des impulsions de charge et de fréquence de répétition connues, pour l'étalonnage des appareils mesurant le courant de décharge moyen ou le débit quadratique. Une procédure d'étalonnage est indiquée à l'annexe B.

5.3 Etalonnage du circuit d'essai complet comportant le mesureur

L'étalonnage du circuit d'essai complet comportant le mesureur a pour but de déterminer le coefficient de conversion k_c correspondant au cas où l'objet en essai est raccordé. Ce coefficient est influencé par les caractéristiques du circuit. L'étalonnage doit être répété pour chaque nouvel objet en essai, sauf dans le cas d'une série d'essais similaires effectués sur des objets dont les capacités ne s'écartent pas de plus de 10% de la valeur moyenne. L'étalonnage n'est à faire que pour une ou un petit nombre de valeurs de la grandeur à mesurer.

Cet étalonnage peut servir à vérifier la valeur minimale de l'intensité de décharges mesurable. Cette valeur minimale est influencée par le niveau de perturbations et par les caractéristiques du circuit (article 8).

L'étalonnage d'appareils de mesure de q , insérés dans le montage complet, doit se faire en injectant de courtes impulsions de courant entre les bornes de l'objet en essai, comme il est indiqué aux figures 4a et 4b, page 56. Dans le cas du circuit d'essai représenté à la figure 4b, il est important de noter que les résultats seraient probablement erronés si les impulsions d'étalonnage étaient appliquées entre la borne à haute tension et la masse.

Les impulsions d'étalonnage sont obtenues de la manière décrite au paragraphe 5.2 et doivent satisfaire aux prescriptions données dans ce paragraphe. L'étalonnage du circuit d'essai complet est habituellement effectué lorsque le circuit est hors tension, en utilisant un condensateur basse tension pour C_0 . En conséquence, C_0 doit être déconnecté avant de mettre le circuit sous tension. Pour que l'étalonnage reste valable, il est nécessaire que la capacité d'étalonnage ne dépasse pas environ 0,1 ($C_a + C_k$). L'impulsion d'étalonnage est alors équivalente à une décharge d'amplitude $q_0 \cong U_0 C_0$. Dans le cas de grands objets en essai, de plusieurs mètres de hauteur, le condensateur d'injection C_0 doit être placé au voisinage de la borne haute tension de l'objet en essai. Des erreurs seront également introduites par la présence de capacités parasites C_s (voir figure 4) entre le point de liaison de C_0 avec le générateur d'échelons de tension et la borne à haute tension, à moins que ces capacités soient négligeables par rapport à C_0 .

Bien qu'une limitation de la bande passante par le circuit lui-même soit prise en compte par l'étalonnage, il est souhaitable d'éviter cette limitation. Il faut pour cela que la fréquence de résonance f_0 d'un détecteur à bande étroite respecte la relation:

$$f_0 \leq 0,3 f_n$$

ce qui peut être contrôlé par un calcul:

où:

$$f_n = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$C = \frac{C_a C_k}{C_a + C_k}$$

$$L = \alpha(h_1 + l + h_2): h_1 \text{ et } h_2 \text{ étant les hauteurs de l'objet en essai et du condensateur de liaison et } l \text{ la longueur de la connexion qui les relie}$$

$$\alpha = 10^{-6} \text{ H/m}$$

5.2.2 Calibration of instruments measuring integrated quantities

The use of a generator similar to that described in Sub-clause 5.2.1 giving pulses of known charge and repetition rate is applicable for the calibration of instruments measuring the average discharge current or quadratic rate. A calibration procedure is given in Appendix B.

5.3 Calibration of the instrument in the complete test arrangement

The calibration of the instrument in the complete test arrangement is made to determine the scale factor k_c with the test object connected. This factor is affected by the circuit characteristics. The calibration should be repeated for each new test object, except in cases where tests are made on a series of similar test objects having capacitance values within $\pm 10\%$ of the mean value. This calibration need only be made at one or a few values of the measured quantity.

This calibration can be used to check the minimum discharge magnitude which can be measured. This minimum quantity is affected by the disturbance level and by the circuit characteristics (Clause 8).

Calibration of instruments measuring q , in the complete test arrangement should be made by injecting short-current pulses into the terminals of the test object, as shown in Figures 4a and 4b, page 56. In the case of the test circuit shown in Figure 4b, it is important to note that if the calibration pulses were applied between the high-voltage terminal and ground, errors are likely to be introduced.

The calibration pulses are obtained in the same manner and should meet the same requirements as given in Sub-clause 5.2. The calibration of the complete test arrangement is usually performed with the test object de-energized using a low voltage capacitor for C_o . Consequently, C_o must be removed before energizing the test circuit. Therefore, in order for the calibration to remain valid the calibrating capacitor must not be larger than about $0.1 (C_a + C_k)$. The calibration pulse is then equivalent to a discharge magnitude $q_o \cong U_o C_o$. In the case of tall test objects several metres in height, the injection capacitor C_o should be located close to the high-voltage terminal of the test object. In the same case, errors will also be caused by any stray capacitances C_s (see Figure 4), from the junction point of C_o and the step voltage generator to the high-voltage terminal unless these are negligible in comparison with that of C_o itself.

Despite the fact that a limitation of the bandwidth by the circuit itself is taken into account by the calibration, it is desirable that this limitation be avoided. Consequently, the resonance frequency f_o of a narrow-band detector should satisfy:

$$f_o \leq 0.3 f_n$$

which can be checked by calculation:

where:

$$f_n = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$C = \frac{C_a C_k}{C_a + C_k}$$

$$L = \alpha (h_1 + l + h_2): h_1 \text{ and } h_2 \text{ are heights of test object and coupling capacitor and } l \text{ is length of conductor between them}$$

$$\alpha = 10^{-6} \text{ H/m}$$

- Notes* 1. — Si le calcul montre qu'il existe une fréquence de résonance proche de la fréquence de mesure, il faut mesurer la réponse du circuit en fonction de la fréquence. Aucune variation importante du coefficient de conversion k_c ne doit être observée lorsqu'on fait varier la fréquence de mesure dans la gamme $f_0 \pm \Delta f$.
2. — Dans le cas d'objets en essai à constantes réparties (par exemple des câbles), des techniques d'étalonnage spéciales peuvent être nécessaires, voir l'annexe C.

6. Essais

6.1 Prescriptions générales

Pour obtenir des résultats reproductibles dans les essais de décharges partielles, il est nécessaire de faire un contrôle soigneux de tous les facteurs qui s'y rapportent. Les articles suivants donnent les prescriptions qui s'appliquent à l'objet lui-même et à la tension d'essai. Des prescriptions supplémentaires peuvent être spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé pour des conditions et des méthodes d'essai spéciales. Ce Comité doit également spécifier la grandeur à mesurer et la valeur requise de l'intensité minimale de décharges mesurable. On se reportera au paragraphe 8.4 pour les renseignements sur les limites pratiques de l'intensité minimale mesurable. Pour les essais sous tension continue, voir l'article 9.

6.2 Conditionnement de l'objet en essai

Avant d'être essayé, un objet doit avoir été soumis aux modalités de conditionnement spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé.

Sauf spécification contraire, les surfaces des isolateurs doivent être propres et sèches, car l'humidité ou la pollution de surfaces isolantes peuvent être une source de décharges partielles. De plus, l'objet en essai doit être à la température ambiante pendant l'essai. L'application de contraintes mécaniques, thermiques et électriques immédiatement avant l'essai peut influencer le résultat des mesures de décharges partielles. Pour assurer une bonne reproductibilité, il peut être nécessaire de ménager un temps de repos entre l'application des contraintes et l'essai de décharge partielle.

6.3 Prescriptions relatives à la tension d'essai

Pour les essais de décharges partielles sous tension alternative, la tension d'essai et sa vitesse de variation doivent être conformes aux prescriptions respectives de la Publication 60-2 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais, sauf spécification contraire.

6.4 Choix des modalités d'essai

Il est du ressort du Comité d'Etudes intéressé de spécifier les modalités à appliquer pour des types particuliers d'essais et d'objets à essayer. Celles-ci comprennent tout procédé de conditionnement préliminaire, les niveaux et la fréquence de la tension d'essai, le mode et les durées de l'application de la tension, ainsi que la relation des mesures de décharges partielles avec les autres essais diélectriques.

Pour faciliter la préparation de ces spécifications d'essai, trois exemples de modes opératoires applicables sous tension alternative sont donnés aux paragraphes 6.4.1 et 6.4.2.

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

Une tension très inférieure à la valeur de seuil est appliquée à l'objet en essai et progressivement élevée jusqu'à ce que les décharges dépassent une faible intensité spécifiée. La tension d'essai correspondant à cette intensité spécifiée est la tension d'apparition des décharges partielles. La tension est alors encore augmentée d'environ 10%; ensuite, elle est réduite à une valeur à laquelle les décharges deviennent inférieures à cette même intensité spécifiée. La tension

- Notes 1. — If the calculation shows resonance near the measuring frequency then the frequency response of the circuit has to be measured. When varying the measuring frequency over the range of $f_0 \pm \Delta f$, no considerable change of the scale factor k_c should be observed.
2. — In the case of test objects with distributed parameters (such as cables), special calibration techniques may be necessary, see Appendix C.

6. Tests

6.1 General requirements

In order to obtain reproducible results in partial discharge tests, careful control of all relevant factors is necessary. The following clauses give the requirements applying to the test object itself and to the test voltage. Additional requirements, for special test conditions and methods of test, may be specified by the relevant Technical Committee. This Committee should also specify the quantity to be measured and the minimum measurable discharge magnitude required. Reference should be made to Sub-clause 8.4 for information on practical limits of minimum measurable magnitude. For the case of tests with direct voltages, see Clause 9.

6.2 Conditioning of the test object

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

If not otherwise specified, the surface of the insulators should be clean and dry since moisture or contamination on insulating surfaces can cause partial discharges. In addition, the test object should be at ambient temperature during the test. Mechanical, thermal and electrical stressing just before the test may affect the result of partial discharge tests. To ensure good reproducibility, a rest interval after previous stressing may be required before making partial discharge tests.

6.3 Requirements for the test voltage

For partial discharge tests with alternating voltages, the test voltages and the rate of rise shall comply with the respective requirements of IEC Publication 60-2: High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures, if not otherwise specified.

6.4 Choice of test procedure

The specification of procedures to be used for particular types of test and test object is the responsibility of the relevant Technical Committee. They include any preliminary conditioning process, the test voltage levels and frequency, sequence and durations of voltage application, and the relationship of partial discharge measurement tests to other dielectric tests.

To assist in preparing such test specifications, three examples of test procedures for alternating voltages are given in Sub-clauses 6.4.1 and 6.4.2.

6.4.1 Determination of the partial discharge inception and extinction voltages

A voltage well below the expected inception value is applied to the test object and gradually increased until discharges exceed a specified low magnitude. The test voltage at this specified magnitude is the partial discharge inception voltage. The voltage is then increased by about 10% and thereafter 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

d'essai correspondant à cette limite est la tension d'extinction des décharges partielles. Il faut noter qu'avec certains systèmes d'isolation la tension d'extinction peut être influencée par la durée d'application de la tension au-dessus de la tension d'apparition; dans le cas où les mesures des tensions d'apparition et d'extinction sont répétées, ces deux tensions peuvent être influencées.

En aucun cas, toutefois, la tension appliquée ne doit dépasser la tension de tenue assignée de l'appareil en essai. Il y a lieu de remarquer que l'application répétée de tensions voisines de la tension de tenue assignée constitue un risque de détérioration pour des appareils à haute tension.

6.4.2 Détermination de l'intensité des décharges partielles à une tension d'essai spécifiée

a) Mesure sans précontrainte

L'intensité 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 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. L'intensité des décharges partielles est mesurée à la fin de cette durée, puis la tension est abaissée et coupée.

Parfois l'intensité des décharges partielles est aussi mesurée pendant la période de croissance ou de décroissance de la tension ou pendant toute la durée de l'essai.

b) Mesure avec précontrainte

Dans cette deuxième procédure, 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.

A ce niveau, la tension est maintenue pendant une durée spécifiée et l'intensité des décharges est mesurée pendant un intervalle de temps donné à la fin de cette durée.

6.5 Mesures sur des câbles et sur des objets comprenant des enroulements

On trouvera à l'annexe C quelques directives pour la mesure des décharges partielles sur des câbles et sur des objets comprenant des enroulements.

7. Précision et sensibilité de la mesure

Les phénomènes de décharges partielles sont généralement largement influencés par de nombreux paramètres et la reproductibilité des essais est donc relativement faible. Les mesures de décharges partielles comportent également des erreurs plus importantes que d'autres types de mesures effectuées lors d'essais à haute tension. Cet aspect doit être considéré pour la définition des essais de décharges partielles de réception.

Les mesures sont également influencées par la valeur du bruit de fond qui doit être assez faible pour permettre une mesure des décharges suffisamment précise (il ne doit normalement pas dépasser 50% du niveau de décharges partielles acceptable spécifié).

On peut ne pas tenir compte des impulsions dont on sait qu'elles sont dues à des perturbations extérieures. Lorsque l'intensité des décharges partielles spécifiée pour des essais de réception de matériel est faible (≤ 10 pC), on peut accepter un bruit de fond atteignant 100% de la valeur spécifiée.

voltage. Note that, with some insulation systems, the extinction voltage may be influenced by the time during which the voltage is maintained above the inception voltage. In the case of repeated measurements of the inception and extinction voltages, both voltages may be affected.

Under no circumstances, however, shall the voltage applied exceed the rated withstand voltage applicable to the apparatus under test. Note that, in the case of high-voltage apparatus there is some danger of damage from repeated voltage applications approaching the rated withstand voltage.

6.4.2 *Determination of the partial discharge magnitude at a specified test voltage*

a) Measurement without pre-stressing

The partial discharge magnitude in terms of the specified quantity is measured at a specified voltage, which may 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. The partial discharge magnitude is measured at the end of this time, and thereafter the voltage is decreased and switched off.

Sometimes the magnitude of the discharges is also measured while the voltage is being increased or reduced or throughout the entire test period.

b) Measurement with pre-stressing

In an alternative procedure 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 value of the partial discharge test voltage.

At this voltage level, the voltage is maintained for a specified time and at the end of this time the partial discharge magnitude is measured in a given time interval.

6.5 *Measurements on cables and on test objects with windings*

Some guidance for the measurement of partial discharges on cables and in test objects with windings will be found in Appendix C.

7. **Measuring accuracy and sensitivity**

Partial discharges are usually phenomena which are greatly affected by several factors and therefore are of relatively low reproducibility. Also, the measurements of partial discharges usually present larger errors than other measurements during high voltage tests. This should be taken into consideration when specifying partial discharge acceptance tests.

The measurements are also affected by the background noise which should be low enough to permit a sufficiently accurate measurement of the partial discharge; (normally less than 50% of the specified permissible partial discharge magnitude).

Pulses which are known to be caused by external disturbances can be disregarded. When low (≤ 10 pC) partial discharge magnitudes are specified for equipment acceptance tests, a background noise up to 100% of the specified value may be accepted.

Note. — L'intensité minimale des décharges partielles qui peut être mesurée au cours d'un essai donné est généralement limitée par les perturbations. Cependant, lorsque celles-ci sont éliminées efficacement par un blindage correct ou à l'aide d'un circuit équilibré, les limites sont généralement fixées par le niveau de bruit interne du mesureur lui-même et par les valeurs des paramètres du circuit d'essai, en particulier C_a , C_k , Z_m et toute capacité C_m en parallèle sur Z_m . L'intensité minimale mesurable croît généralement avec les valeurs de C_a , C_m , $1/Z_m$ et avec le rapport C_a/C_k . Dans les cas où la capacité de l'objet en essai est très petite ou très grande, le rapport signal/bruit de la mesure peut être augmenté à l'aide d'un transformateur d'adaptation.

8. Perturbations

8.1 Sources de perturbations

Les perturbations qui peuvent interférer avec les indications des appareils de mesure des décharges partielles se classent en deux catégories:

- Les perturbations qui se produisent même lorsque le circuit d'essai n'est pas alimenté. Elles proviennent par exemple de manœuvres dans d'autres circuits, de machines à collecteur, d'essais à haute tension exécutés dans le voisinage, d'émissions radioélectriques, etc., y compris le bruit propre de l'appareil de mesure lui-même. Elles peuvent également se produire lorsque la source d'alimentation est connectée au circuit d'essai mais avec une tension nulle.
- Les perturbations qui n'existent que lorsque le circuit est alimenté mais qui ne se produisent pas dans l'objet en essai. Ces perturbations sont généralement croissantes avec la tension d'essai. Elles peuvent comprendre, par exemple, des décharges partielles dans le transformateur d'essai, sur les conducteurs à haute tension, dans des traversées (lorsqu'elles ne font pas partie de l'objet en essai), ou des perturbations provenant d'étincelles dues à une mise à la terre imparfaite d'objets voisins. Elles peuvent également provenir de contacts défectueux entre pièces portées à la haute tension, par exemple des amorçages entre écrans et autres conducteurs haute tension qui ne sont reliés à l'écran que pour l'essai. Des perturbations peuvent également être provoquées par les harmoniques de rang élevé de la tension d'essai qui sont compris dans la bande passante du mesureur. Des décharges partielles ou des étincelles de contact dans la source basse tension peuvent aussi causer des perturbations si elles sont transmises à travers le transformateur d'essai ou par toute autre voie au circuit de mesure.

Voir à l'article 9 le cas des perturbations lors des essais sous tension continue.

8.2 Détection des perturbations

Les sources indépendantes de la tension peuvent être décelées par la lecture du mesureur en l'absence d'alimentation du circuit d'essai. La valeur lue sur l'appareil constitue une mesure de ces perturbations.

Les sources de perturbations dépendant de la tension peuvent être détectées de la façon suivante: l'objet en essai est soit retiré, soit remplacé par un condensateur équivalent ne présentant pas de décharges partielles significatives; le circuit doit être réétalonné suivant la procédure indiquée au paragraphe 5.3; le circuit est alors mis sous tension jusqu'à la pleine valeur de la tension d'essai.

Si le niveau des perturbations dépasse 50% du niveau de décharges maximal autorisé pour l'objet en essai, des dispositions doivent être adoptées pour réduire les perturbations. On pourra utiliser pour cela l'une ou plusieurs des méthodes décrites au paragraphe 8.3. Il est incorrect de retrancher le niveau des perturbations de la valeur de l'intensité des décharges partielles mesurées.

Note. — The minimum partial discharge magnitude which can be measured in a particular test is in general limited by disturbances. However, where these are effectively eliminated by suitable screening or by using a balanced test circuit, the limits are usually determined by the internal noise level of the instrument itself and by the values of the test circuit parameters, especially C_a , C_k , Z_m and any capacitance C_m in parallel with Z_m . In general, the minimum measurable magnitude increases with increase in the values of C_a , C_m , $1/Z_m$ and the ratio C_a/C_k . The use of a matching transformer may increase the signal-to-noise ratio of the measurements for cases where the test object capacitance is very small or very large.

8. Disturbances

8.1 Sources of disturbances

Interference with the indication of partial discharge measuring instruments may be caused by disturbances which fall into two categories:

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

For the case of disturbances with direct voltages, see Clause 9.

8.2 Detecting disturbances

The voltage-independent sources can be detected by a reading on the instrument when the test circuit is not energized. The value read on the instrument is a measure of these disturbances.

The voltage dependent sources of disturbances can be detected in the following manner; the test object is either removed or replaced by an equivalent capacitor having no significant partial discharges. The circuit should be recalibrated by the procedure given in Sub-clause 5.3. The circuit should now be energized up to the full test voltage.

If the disturbance level exceeds 50% of the maximum permissible discharge level of the test object, then measures should be introduced to reduce the disturbances. One or more of the methods described in Sub-clause 8.3 may be used to reduce the disturbances. It is incorrect to subtract the disturbance level from the measured partial discharge magnitude.

L'emploi d'un oscilloscope comme instrument indicateur aide l'opérateur à faire la distinction entre les décharges partielles se produisant dans l'objet en essai et les perturbations externes, telles que le bruit de fond. Il permet parfois de déterminer le type de décharges.

Des méthodes non électriques de détection (paragraphe 4.4) sont souvent utiles pour localiser l'effet de couronne sur les conducteurs à haute tension ou ailleurs dans la zone d'essai. Elles peuvent également être un moyen indépendant de confirmer l'existence de décharges partielles dans l'objet en essai.

8.3 Réduction des perturbations

8.3.1 Généralités

On peut obtenir une réduction des perturbations par une mise à la terre convenable de toutes les structures conductrices proches de l'aire d'essai et par un filtrage des réseaux d'alimentation des circuits d'essai et de mesure. La meilleure réduction est obtenue lorsque les essais sont effectués dans une salle blindée dont toutes les liaisons électriques sont faites par l'intermédiaire de filtres efficaces. On peut pousser plus loin la réduction des perturbations grâce aux méthodes décrites aux paragraphes 8.3.2 et 8.3.3.

8.3.2 Circuit équilibré

L'utilisation d'un circuit équilibré, figure 1c, page 54, permet souvent à l'observateur de faire la distinction entre les décharges dans l'objet en essai et les décharges dans d'autres parties du circuit, ou le bruit de fond, et aussi de compenser ces dernières.

8.3.3 Traitement et extraction électroniques des signaux

D'une façon générale et plus particulièrement dans des conditions industrielles, la finesse de la mesure est limitée par l'existence de perturbations. Diverses méthodes électroniques, qui peuvent être utilisées séparément ou combinées, permettent de séparer le véritable signal dû aux décharges partielles des perturbations. Leur mise en œuvre nécessite un soin particulier. Certaines de ces méthodes sont décrites ci-après.

a) Méthode de sélection dans le temps

Le mesureur peut comprendre une porte qui peut être ouverte ou fermée suivant une séquence prévue permettant ainsi de transmettre le signal ou de le bloquer. Si les perturbations se produisent à intervalles réguliers, la porte peut être fermée pendant ces intervalles. Lors des essais sous tension alternative, les décharges réelles peuvent n'apparaître que pendant certains intervalles de temps bien définis par rapport à la période de la tension d'essai. Cette propriété peut être utilisée pour ouvrir la porte uniquement pendant ces intervalles. La méthode de sélection dans le temps est particulièrement utile pour les essais sous tension continue lorsque la tension d'essai est obtenue par redressement d'une tension alternative.

b) Méthode de sélection de la polarité

Les signaux provenant de l'objet en essai peuvent être distingués des perturbations qui viennent de l'extérieur du circuit d'essai en comparant la polarité des impulsions qui traversent les impédances de mesures telles que Z_m et Z_{m1} , figure 1c. Un dispositif logique effectue cette comparaison et commande la porte du mesureur décrite au point a), ci-dessus, pour laisser passer les impulsions de polarité correcte, provenant donc uniquement de l'objet en essai.

The use of an oscilloscope as an indicating instrument helps the observer to distinguish between discharges in the test object and external disturbances, such as background noise. It sometimes makes it possible to determine the type of discharges.

Non-electrical detection methods (Sub-clause 4.4) are often useful for locating corona on the high-voltage leads or elsewhere in the test area. They can also give independent confirmation of partial discharges in the test object.

8.3 *Reduction of disturbances*

8.3.1 *General*

Reduction of disturbances can be achieved by suitably grounding all conducting structures in the vicinity of the tests and by filtering the power supplies for the test and measuring circuits. The best reduction is achieved by testing in a shielded room where all electrical connections into the room are made through effective filters. Further reduction of disturbances can be achieved by the methods described in Sub-clauses 8.3.2 and 8.3.3.

8.3.2 *Balanced circuits*

The use of a balanced circuit, Figure 1c, page 54, often enables the observer to distinguish between discharges in the test object and discharges in other parts of the test circuit, or background noise, and also to compensate for the latter.

8.3.3 *Electronic processing and recovering of signals*

Generally and especially during industrial conditions, the sensitivity is limited by the presence of disturbances. Various electronic methods do exist, which may be used individually or in combination in order to separate the true partial discharge signal from the disturbances. They should only be used with special care. Some of these methods are described below.

a) *Time window method*

The instrument may be provided with a gate which can be opened and closed at pre-selected moments, thus either passing the signal or blocking it. If the disturbances occur during regular intervals the gate can be closed during these intervals. In tests with alternating voltage, the true discharge signal may occur only at regularly repeated intervals during the cycles of the test voltage. This can be used to open the gate only at these intervals. The time window method is particularly useful for tests with direct voltage where the test voltage is obtained by rectifying an alternating voltage.

b) *Polarity discrimination methods*

Signals originating from the test object may be distinguished from disturbances originating from outside the test circuit by comparing the polarity of the pulses across measuring impedances such as Z_m and Z_{m1} , Figure 1c. A logic system performs the comparison and operates the gate of the instrument, described in Item a) above, for pulses of the correct polarity and consequently only those pulses which originate from the test object are recorded.

c) Moyennage des impulsions

De nombreuses perturbations, dans une installation industrielle, ont un caractère aléatoire alors que les vraies décharges se reproduisent sensiblement au même moment de la période de la tension d'essai. Il est donc possible de réduire notablement le niveau relatif des perturbations erratiques en utilisant les techniques modernes de moyennage d'un signal.

d) Choix de la fréquence

Les perturbations d'émissions radiophoniques ne couvrent que des bandes de fréquences discrètes mais influencent toutefois les détecteurs à bande large si la fréquence transmise se situe dans la bande passante du mesureur. Pour réduire ce type de perturbations, on peut réduire le gain de l'amplificateur du mesureur à l'aide de filtres coupe-bande accordés sur les émetteurs perturbateurs. Ou bien on peut utiliser des mesureurs à bande étroite accordés à des fréquences pour lesquelles le niveau des émetteurs est négligeable.

8.4 Niveaux de perturbation

On ne peut donner aucune valeur précise concernant l'importance des perturbations, mais à titre d'indication générale, on peut noter que des perturbations équivalant à des décharges de quelques centaines de picocoulombs peuvent se rencontrer sur des plates-formes industrielles non blindées, en particulier dans le cas de circuits d'essai de grandes dimensions géométriques. Par l'emploi de circuits d'essai équilibrés, de telles perturbations peuvent être notablement réduites.

Dans les locaux d'essai blindés, où toutes les masses conductrices sont efficacement reliées au blindage et où toutes les précautions nécessaires sont prises pour supprimer les perturbations provenant de la source d'alimentation et des autres réseaux électriques, la limite de mesure résiduelle est celle du montage d'essai ou celle qui résulte de défauts mineurs des systèmes de blindage, de mise à la terre ou de filtrage. Pour les applications pratiques, on arrive aujourd'hui à un niveau minimal mesurable d'environ 1 pC.

9. Prescriptions spéciales pour les mesures de décharges partielles lors d'essais sous tension continue

9.1 Généralités

Il y a de nombreuses différences significatives entre les phénomènes de décharges partielles qui se produisent lors des essais sous tension continue et lors des essais sous tension alternative, en particulier pour les isolations solides, liquides ou mixtes. Pour les isolations gazeuses, il se peut que ces différences soient négligeables.

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

- La fréquence de répétition sous tension continue peut être très basse parce que l'intervalle entre les impulsions individuelles est déterminé, sous tension continue, par la constante de temps électrique des matériaux utilisés alors qu'il est déterminé, sous tension alternative, par la fréquence de la tension d'essai.
- La répartition de la tension entre les matériaux composant l'isolation est fixée par les résistivités lorsque la tension est constante alors qu'elle dépend essentiellement des constantes diélectriques pendant les variations de tension.

Après chaque changement de la tension, qu'il soit augmentation ou diminution, il se produit un phénomène de redistribution de charge dont la durée est normalement assez longue. Il en va de même en cas d'inversion de polarité.

c) Pulse averaging

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

d) Frequency selection

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

8.4 Disturbance levels

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

In shielded test rooms, with effective connecting of all conducting structures to the screen and with adequate precautions to suppress disturbances from the power supply and from other electrical systems, the ultimate limit of measurement is that of the measuring arrangement itself or that given by minor imperfections in the screening, grounding or filtering. For practical applications today, the lowest measurable value is about 1 pC.

9. Special requirements for partial discharge measurements during tests with direct voltage

9.1 General

There are several significant differences between partial discharge phenomena during tests with direct voltage and those with alternating voltage, particularly for tests on solid and liquid insulations and combinations of these. For gaseous insulation, these differences may be negligible.

Some of these differences are summarized as follows:

- The repetition rate for direct voltage can be very low due to the fact that the time interval between individual pulses at direct voltage is determined by the electrical time constant of the materials involved, while for alternating voltage it is determined by the frequency of the test voltage.
- The voltage distribution within the insulation materials will be determined by the resistivities when the voltage is constant, while during voltage variations it will be essentially determined by the dielectric constants.

After a change of the voltage level, either increase or decrease, there will be a charge redistribution process which normally has a fairly long duration. The same applies to a polarity reversal.

- Le comportement d'un objet en essai du point de vue des décharges partielles peut aussi être considérablement influencé par des paramètres tels que l'ondulation de la tension continue ou la température.

En ce qui concerne ces phénomènes, on trouvera ci-dessous des informations complétant celles qui figurent aux articles 3 à 8.

9.2 *Grandeurs relatives aux décharges partielles*

Il est en général possible d'utiliser des grandeurs telles que la charge apparente q et la fréquence de répétition n pour les essais sous tension continue. En revanche, on ne dispose pas d'expérience de l'utilisation des grandeurs globales lors de tels essais.

9.3 *Tensions en rapport avec les décharges partielles*

La valeur de la tension continue utilisée pour les essais de décharges partielles est indiquée sous la forme de sa valeur moyenne.

9.3.1 *Tensions d'apparition et d'extinction des décharges*

Les tensions d'apparition et d'extinction des décharges 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.

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 solides, liquides ou mixtes.

9.3.2 *Tension d'essai de décharges partielles*

La tension d'essai des décharges partielles est définie de la même manière que pour les essais sous tension alternative; on ne prend généralement en considération que les décharges dont la fréquence de répétition dépasse une certaine valeur; l'existence d'impulsions isolées peu fréquentes mais de grande amplitude peut cependant avoir de l'importance.

9.4 *Circuits d'essai et appareils de mesure*

Les circuits d'essai et les appareils de mesure utilisés pour les essais sous tension alternative sont en général également applicables aux essais sous tension continue, mais il est recommandé de compléter cette mesure à l'aide de dispositifs de comptage d'impulsions.

Lorsque la fréquence de répétition n est faible, il est utile d'employer un dispositif de comptage qui classe les décharges dans différentes gammes d'amplitudes réglables pour chaque intervalle de temps.

9.5 *Essais*

9.5.1 *Prescriptions relatives à la tension d'essai*

Pour les essais de décharges partielles sous tension continue, la tension d'essai et sa vitesse de variation doivent être conformes aux prescriptions respectives de la Publication 60-2 de la C E I, sauf spécification contraire par le Comité d'Etudes concerné.

9.5.2 *Choix des modalités d'essai*

Les modalités décrites dans le cas des essais sous tension alternative pour déterminer les tensions d'apparition et d'extinction des décharges ne sont généralement pas utilisables lors des

- The partial discharge behaviour of a test object may also be considerably influenced by such parameters as ripple on the direct voltage and temperature.

With regard to these phenomena further information concerning that given in Clauses 3 to 8 is given below.

9.2 *Quantities related to partial discharges*

In general, quantities such as apparent charge q and repetition rate n are also applicable to tests with direct voltages. However, there is no experience available concerning the use of integrated quantities for such tests.

9.3 *Voltages related to partial discharges*

Voltage values during partial discharge tests are given by their mean values in the case of direct voltages.

9.3.1 *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.

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

9.3.2 *Partial discharge test voltage*

The partial discharge test voltage is defined similarly to that for alternating voltage. Usually, only discharge magnitudes above a certain repetition rate are considered, however, single high magnitude pulses occurring infrequently may be of importance.

9.4 *Test circuits and measuring instruments*

In general, test circuits and measuring instruments used during tests with alternating voltages may also be used with direct voltages. However, it is recommended that pulse counting devices be used as a complement.

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

9.5 *Tests*

9.5.1 *Requirements for the test voltage*

For partial discharge tests with direct voltages, the test voltages and the rate of rise shall comply with the respective requirements of IEC Publication 60-2, if not otherwise specified by the relevant Technical Committee.

9.5.2 *Choice of test procedure*

The procedures described for alternating voltage to determine the inception and extinction voltages are generally not applicable for tests with direct voltage as the stress on the dielectric

essais sous tension continue car le champ appliqué au diélectrique pendant la montée et la descente de la tension est différent de celui qui existe pendant les périodes où la tension est constante.

Il n'existe pas de méthode universellement reconnue pour la mesure de l'intensité des décharges partielles sous tension continue. Quelle que soit la méthode utilisée, il est cependant important de noter que l'intensité des décharges partielles peut être différente au début de l'application de la tension et après une durée importante sous la même tension d'essai.

9.6 *Perturbations*

Les informations contenues à l'article 8 s'appliquent également aux essais sous tension continue. On peut cependant, dans ce cas, observer un type particulier de perturbations régulièrement répétées, liées au passage de courant dans les éléments redresseurs de la source de tension continue.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1981

during voltage rise and decrease is different from that during the period when the voltage is constant.

There is no generally accepted method for the determination of the partial discharge magnitude during tests with direct voltage. Whatever method is used, it is important to note that the partial discharge magnitude at the beginning of the voltage application may be different from its magnitude after a considerable time at the same test voltage.

9.6 *Disturbances*

The information given in Clause 8 is also applicable for tests with direct voltages. However, in this case a particular type of regularly repeated disturbance may occur which is related to the transition of current in the rectifier elements of the direct voltage source.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1981

ANNEXE A

CIRCUITS D'ESSAI

Les circuits d'essai utilisés pour les mesures de décharges partielles comprennent une impédance de mesure connectée soit en série entre l'objet en essai et la terre, soit aux bornes de l'objet en essai par l'intermédiaire d'un condensateur de liaison convenable. Avec le montage en série, une partie des courants dus aux décharges partielles peut circuler en dehors de l'impédance de mesure si l'objet en essai n'est pas à l'intérieur d'un caisson assurant la collecte de tous les courants et les obligeant à traverser l'impédance de mesure.

Il existe trois circuits fondamentaux dont sont dérivés tous les autres circuits d'essai pour la détection et la mesure des décharges partielles. Ces trois circuits, représentés sur les figures 1a, 1b, et 1c, page 54, sont brièvement décrits ci-dessous.

Figure 1a

Dans ce circuit, l'impédance de mesure est insérée dans la branche de mise à la terre du condensateur de liaison. 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 à haute tension et la terre. L'impédance Z placée entre l'objet en essai et la source à haute tension permet d'atténuer les perturbations venant de la source à haute tension, elle augmente également la sensibilité de la mesure en réalisant un blocage des impulsions venant de l'objet en essai et qui pourraient être dérivées à travers l'impédance de la source.

Figure 1b

Dans ce circuit, l'impédance de mesure est insérée dans la branche de mise à la terre de l'objet en essai. Pour cela, le côté à basse tension de l'objet doit être isolé de la terre.

Note. — Un circuit est parfois utilisé, semblable en principe à celui de la figure 1b, mais où 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 en comparaison de la capacité parasite par rapport à la terre. Il peut convenir également si la capacité de la borne du transformateur d'essai est au moins du même ordre que C_a , pourvu que Z soit absente.

Figure 1c

Le montage représenté comprend un circuit équilibré dans lequel le mesureur est branché entre les impédances Z_m et Z_{m1} . L'objet en essai et le condensateur de liaison doivent avoir, tous les deux, leurs côtés à basse tension isolés de la terre. Leurs capacités n'ont pas besoin d'être égales, mais elles doivent de préférence être du même ordre de grandeur, et, pour obtenir les meilleurs résultats, il faut que leurs facteurs de dissipation diélectriques soient voisins, en particulier du point de vue de leur variation en fonction de la fréquence. Ce circuit a l'avantage de réduire les perturbations extérieures. Pour en effectuer le réglage, on peut brancher une source de décharges artificielles entre la borne à haute tension et la terre et faire varier les impédances Z_m et Z_{m1} de façon à rendre minimale la valeur indiquée par l'appareil de mesure. On peut obtenir des rapports de réduction allant de 3 (pour des échantillons totalement différents) à 1 000 et même plus (pour des échantillons identiques et bien blindés).

Figure 2

A partir de ces circuits fondamentaux, de nombreuses variantes peuvent être obtenues. Le montage représenté à la figure 2, page 55, qui s'applique à des objets équipés de traversées à répartition capacitive, est équivalent à celui de la figure 1a, sauf que la capacité de la traversée remplace le

APPENDIX A

TEST CIRCUITS

Test circuits for the measurement of partial discharges either have the measuring impedance connected in series between the test object and ground or the measuring impedance is connected across the test object by means of a suitable coupling capacitor. With the series connection, some of the partial discharge currents may bypass the measuring impedance if the test object is not encased in such a manner as to ensure that all of the currents are collected and forced to flow through the measuring impedance.

There are three basic circuits from which all other test circuits for the detection and measurement of partial discharges are derived. These three circuits, which are shown in Figures 1a, 1b and 1c, page 54, are briefly described below.

Figure 1a

The measuring impedance in this circuit is placed at the earth side of the coupling capacitor. This arrangement has the advantage of being suitable for testing objects having one earthed terminal, the test object being connected directly between the high-voltage source and earth. The impedance Z 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 pulses from the test object which would otherwise be bypassed through the source impedance.

Figure 1b

In this circuit, the measuring impedance is placed at the earth side of the test object. The low-voltage side of the test object shall therefore be isolated from earth.

Note. — A circuit is sometimes used which is similar to that shown in Figure 1b, but in which, the function of C_k is performed by the 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 Z is omitted.

Figure 1c

The arrangement shown comprises a balanced circuit in which the instrument is connected between the impedances Z_m and Z_{m1} . The low voltage side of the test object and the coupling capacitance must both be isolated from earth. 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 has the merit of partially rejecting external disturbances. To adjust this rejection an artificial discharge source may be coupled between the high-voltage terminal and earth. The impedance Z_m or Z_{m1} is then adjusted until a minimum reading of the instrument is obtained. Reduction ratios of from 3 (for totally unequal test objects) to 1 000 or even higher (for identical, well screened test objects) are possible.

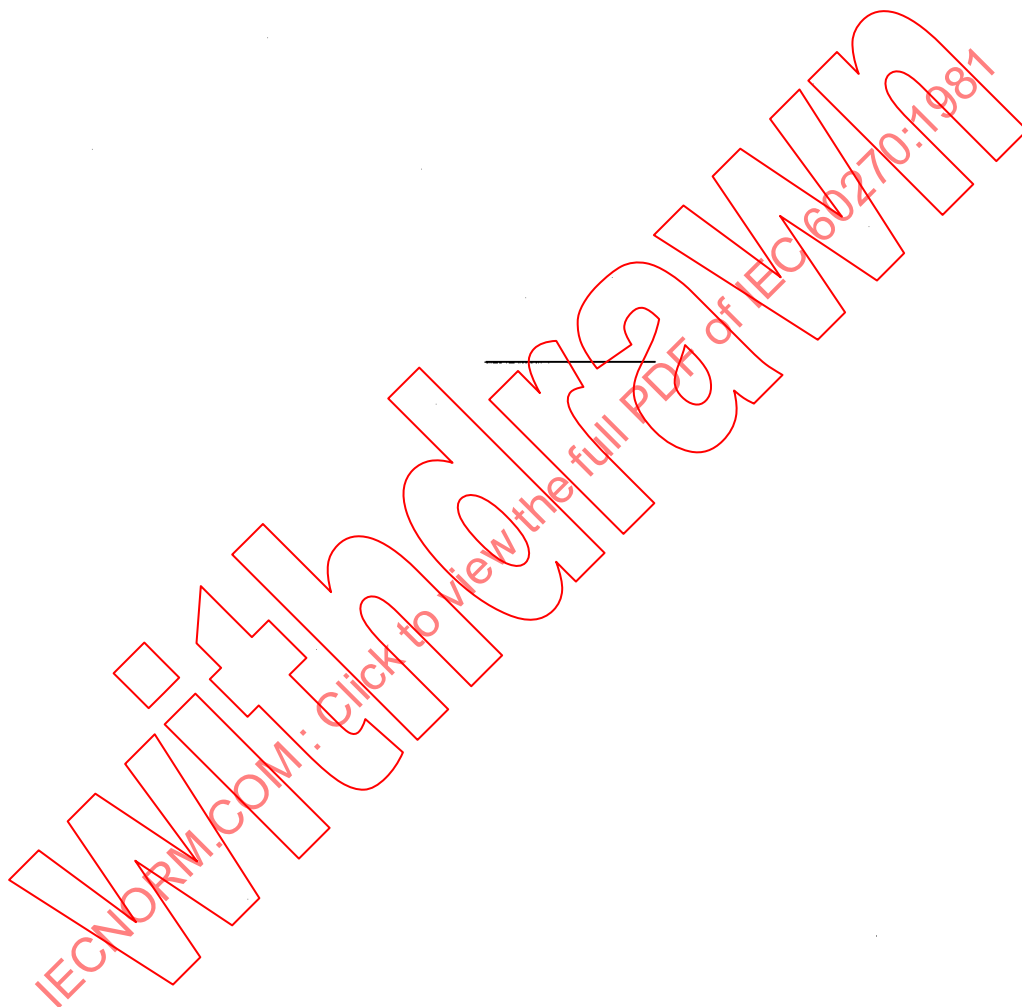
Figure 2

From these basic circuits, many variations can be derived. The arrangement shown in Figure 2, page 55, 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

condensateur de liaison C_k . Si la traversée a une prise, l'impédance de mesure y est connectée; dans ce cas, une capacité C_m relativement grande se trouve mise en parallèle avec l'impédance de mesure et peut affecter la sensibilité de la mesure.

Figure 3

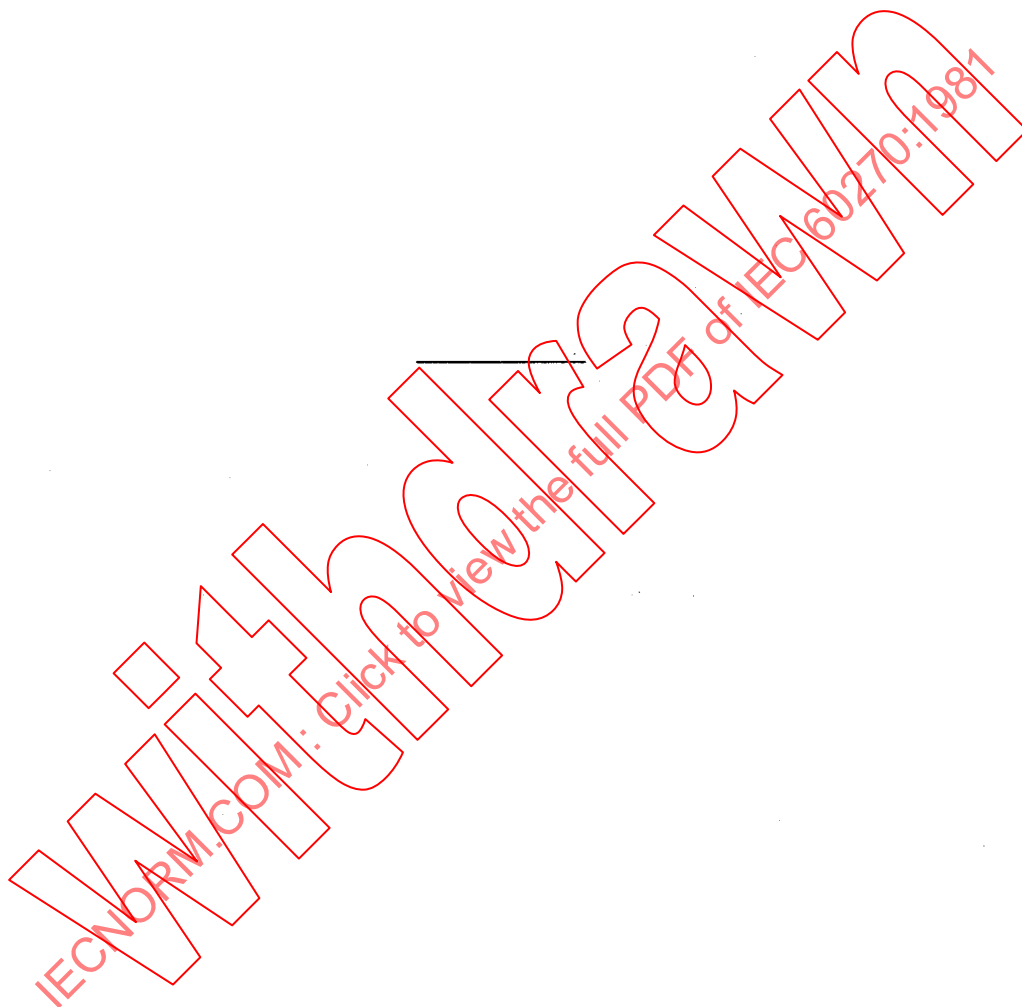
Ce schéma, page 55, représente un circuit d'essai dans lequel la tension d'essai est induite dans l'objet essayé, par exemple un transformateur de puissance ou de mesure. En principe, cette disposition est équivalente à celle indiquée à la figure 1a, page 54.



bushing has a tapping, the measuring impedance is connected to this terminal; in this case, a relatively large capacitance C_m appears across the measuring impedance and may affect the sensitivity of the measurement.

Figure 3

This arrangement, page 55, 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, page 54.



ANNEXE B

GRANDEURS GLOBALES

Les grandeurs globales sont liées à la charge apparente q et à la fréquence de répétition n conformément aux formules suivantes, où T est un intervalle de temps de référence:

Courant de décharges moyen I

$$I = \frac{1}{T} \left[|q_1| + |q_2| + \dots + |q_m| \right]$$

Le courant de décharge moyen est exprimé en coulombs par seconde ou en ampères. Dans certains cas, l'intervalle de temps est de une période et cette grandeur est appelée «charge apparente totale par période».

Débit quadratique D

$$D = \frac{1}{T} \left[q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2 \right]$$

Le débit quadratique est exprimé en (coulombs)² par seconde.

L'étalonnage des appareils de mesure de I ou D insérés dans le montage d'essai complet est effectué d'une façon similaire à celle qui est décrite au paragraphe 5.3 pour la mesure de q . La fréquence de répétition du générateur doit être inférieure à la bande passante du mesureur. Cette exigence est généralement satisfaite si cette fréquence correspond à un intervalle entre impulsions supérieur au temps de résolution, mais cette condition n'est pas indispensable pour la mesure du débit quadratique. La valeur de la fréquence de répétition doit, en outre, être connue. Si les impulsions proviennent de la dérivation d'un échelon de tension rectangulaire de fréquence de base f_g et si les impulsions de courant positives et négatives sont utilisées, la fréquence de répétition n sera égale à $2f_g$. Dans ces conditions, la lecture de l'appareil correspond à un courant de décharges moyen:

$$I = 2 f_g U_o C_o$$

et à un débit quadratique:

$$D = 2 f_g (U_o C_o)^2$$

Puissance de décharge P

$$P = \frac{1}{T} \left[q_1 U_1 + q_2 U_2 + \dots + q_m U_m \right]$$

où $U_1, U_2, \dots, U_m$ sont les valeurs instantanées de la tension d'essai à l'instant où se produisent les décharges $q_1, q_2, \dots, q_m$.

La puissance de décharges est exprimée en watts.