

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 270

Première édition — First edition

1968

Mesure des décharges partielles

Partial discharge measurements



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1968

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 270

Première édition — First edition

1968

Mesure des décharges partielles

Partial discharge measurements



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Définitions	8
3.1 Décharges partielles	8
3.2 Intensité de décharges partielles	8
3.3 Grandeurs relatives à des décharges individuelles	8
3.4 Grandeurs globales	10
3.5 Valeurs de tension en rapport avec les décharges partielles	10
4. Circuits d'essai et instruments de mesure	12
4.1 Prescriptions générales	12
4.2 Circuits d'essai	12
4.3 Instruments de mesure	14
4.4 Méthodes non électriques de détection	16
5. Etalonnage et contrôle	18
5.1 Généralités	18
5.2 Détermination complète des caractéristiques de l'instrument de mesure	18
5.3 Etalonnage de l'instrument inséré dans le montage d'essai complet	20
5.4 Perturbations	22
6. Essais	24
6.1 Prescriptions générales	24
6.2 Conditionnement de l'objet en essai	24
6.3 Prescriptions relatives à la tension d'essai	26
6.4 Choix des modalités d'essai	26
6.5 Mesures sur des objets comprenant des enroulements	28
ANNEXE A — Circuits d'essai	30
ANNEXE B — Liste sommaire des instruments et des méthodes de mesure	34
ANNEXE C — Mesures sur des objets avec enroulements et sur des câbles	36
ANNEXE D — Utilisation de mesureurs de perturbations radioélectriques pour la mesure des décharges partielles	38
ANNEXE E — Valeurs minimales mesurables	42
ANNEXE F — Note technique 1 — Méthodes pour la mesure de la puissance de décharges	44
ANNEXE G — Note technique 2 — Source d'impulsions par effet de couronne	48
ANNEXE H — Note technique 3 — Mesure des décharges partielles au cours d'essais en tension continue	50
FIGURES	52

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Definitions	9
3.1 Partial discharges	9
3.2 Partial discharge intensity	9
3.3 Quantities related to individual discharges	9
3.4 Integrated quantities	11
3.5 Voltage values related to partial discharges	11
4. Test circuits and measuring instruments	13
4.1 General requirements	13
4.2 Test circuits	13
4.3 Measuring instruments	15
4.4 Non-electrical methods of detection	17
5. Calibration and checking	19
5.1 General	19
5.2 Complete determination of instrument characteristics	19
5.3 Calibration of the instrument in the complete test arrangement	21
5.4 Disturbances	23
6. Tests	25
6.1 General requirements	25
6.2 Conditioning of the test object	25
6.3 Requirements for the test voltage	27
6.4 Choice of test procedure	27
6.5 Measurements on test objects with windings	29
APPENDIX A — Test circuits	31
APPENDIX B — Summary of measuring instruments and methods	35
APPENDIX C — Measurements on test objects with windings and on cables	37
APPENDIX D — The use of radio interference meters for the measurement of partial discharges	39
APPENDIX E — Minimum measurable quantities	43
APPENDIX F — Technical note 1 — Methods for measurement of partial discharge power	45
APPENDIX G — Technical note 2 — Corona discharge pulse source	49
APPENDIX H — Technical note 3 — Partial discharge measurements during tests with direct voltage	51
FIGURES	52

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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

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

Un premier projet fut discuté lors des réunions tenues à Aix-les-Bains en 1964 et à Tokyo en 1965. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1967.

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

Afrique du Sud	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Brésil	Pologne
Canada	Royaume-Uni
Corée (République de)	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
Finlande	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
France	Yougoslavie
Israël	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

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

A first draft was discussed at the meetings held in Aix-les-Bains in 1964 and in Tokyo in 1965. As a result of this latter meeting, a new draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1967.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Austria	Norway
Brazil	Poland
Canada	South Africa
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia
Korea (Republic of)	

MESURE DES DÉCHARGES PARTIELLES

1. Domaine d'application

Cette recommandation a trait à la mesure des décharges partielles, au cours d'essais sous tension alternative seulement. Les mesures de décharges partielles au cours d'essais sous tension continue sont brièvement mentionnées dans une Note Technique. Cette recommandation est destinée principalement à servir de lignes directrices aux autres Comités d'Etudes dans l'élaboration de spécifications pour des matériels particuliers.

Les mesures de décharges partielles sont exécutées principalement pour:

- vérifier que l'objet en essai est exempt de décharges partielles dépassant une intensité spécifiée, à une tension spécifiée;
- déterminer les valeurs de tension auxquelles de telles décharges partielles apparaissent à tension croissante et disparaissent à tension décroissante;
- déterminer l'intensité de décharges à une tension spécifiée.

Les décharges considérées dans cette recommandation 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. Elles peuvent résulter d'une ionisation dans des vacuoles à l'intérieur d'une isolation solide, dans des bulles gazeuses dans des liquides isolants, ou le long de surfaces diélectriques. Chaque décharge individuelle dans une vacuole particulière donne lieu à une impulsion de courant dans le diélectrique et dans le circuit extérieur.

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 recommandation.

La mesure de décharges partielles dans les appareils avec enroulements, tels que les transformateurs, les générateurs et les moteurs, est compliquée par l'atténuation des impulsions dans les enroulements et par des phénomènes de résonance. Les prescriptions propres aux essais sur de tels objets ne sont que brièvement traitées.

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

2. Objet

Cette recommandation a pour objet:

- de définir les termes employés;
- de définir des grandeurs se prêtant aux mesures;
- de décrire les circuits d'essai et les instruments de mesure susceptibles d'être utilisés;
- de recommander les types de mesure et les instruments convenant à des applications particulières;
- de recommander des méthodes d'étalonnage et de contrôle;
- de décrire des modalités d'essai.

PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS

1. Scope

This Recommendation applies to the measurement of partial discharges during tests with alternating voltage only. Partial discharge measurements during tests with direct voltage are briefly referred to in a Technical Note. The Recommendation is intended principally as a general guide for other Technical Committees when drafting specifications for specific apparatus.

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

- to verify that the test object is free from partial discharges above a specified magnitude, at a specified voltage;
- to determine the voltage amplitudes at which such partial discharges commence with increasing voltage and cease with decreasing voltage;
- to determine the discharge intensity at a specified voltage.

The discharges which are considered in this Recommendation 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. They may result from ionization in cavities within solid insulation, in gas bubbles in insulating liquids, or along dielectric surfaces. Each individual discharge in a single cavity causes a single pulse of current in the dielectric and in the external circuit.

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 Recommendation.

Partial discharge measurements in apparatus having windings, such as transformers, generators and motors, are complicated by the attenuation of pulses within the windings and by resonance phenomena. Special requirements for tests on these objects are only briefly dealt with.

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

2. Object

The objects of this Recommendation are:

- to define the terms used;
- to define the relevant quantities for measurement;
- to describe the test circuits and measuring instruments which may be used;
- to recommend the types of measurement and instruments suitable for particular applications;
- to recommend methods for calibration and checking;
- to describe test procedures.

3. Définitions

3.1 Décharges partielles

Au sens de la présente recommandation, 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 adjacentes à un conducteur.

Note. — Le terme « effet de couronne » (« corona ») est réservé de préférence à des décharges partielles dans des gaz autour d'un conducteur, nu ou isolé, éloigné de toute autre isolation solide. Toutefois, il est également utilisé dans certains pays pour tous les types de décharges partielles considérées dans la présente recommandation.

Le terme « ionisation » désigne tout processus produisant des ions positifs ou négatifs, ou des électrons, à partir d'atomes ou de molécules neutres: il ne doit pas être utilisé pour désigner les décharges partielles.

3.2 Intensité de décharges partielles

Le niveau de décharges partielles auquel donne lieu un objet en essai dans des conditions données, peut être désigné, sans faire référence à une grandeur déterminée, par le terme général « intensité de décharges ». Les résultats quantitatifs des mesures sont exprimés au moyen de l'une ou de plusieurs des grandeurs particulières définies aux paragraphes 3.3 et 3.4. Des indications sur le choix d'une ou de plusieurs grandeurs sont données à l'article 6.

3.3 Grandeurs relatives à des décharges individuelles

3.3.1 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 valeur absolue $|q|$ de la charge apparente est souvent appelée amplitude de décharge. La charge apparente est exprimée en coulombs.

Note. — La charge apparente q ainsi définie n'est pas égale à la valeur de la charge effectivement transférée à travers la vacuole siège de la décharge, à l'intérieur du diélectrique. Elle est utilisée parce que l'effet sur les mesures de décharges est fonction de cette grandeur.

3.3.2 Fréquence de répétition, n

La fréquence de répétition n de décharges partielles est le nombre moyen d'impulsions de décharges partielles par seconde.

Note. — En pratique, on peut ne considérer que les impulsions dépassant une amplitude spécifiée ou comprise 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 de décharge.

3.3.3 Énergie, w , d'une décharge partielle individuelle

L'énergie w de décharge partielle est l'énergie dissipée au cours d'une décharge considérée individuellement; elle est exprimée en joules.

Note. — Dans certaines hypothèses concernant la représentation électrique du phénomène physique, cette énergie est donnée en fonction de q et de U_i par:

$$w = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} q U_i$$

où:

q est la charge apparente mesurée

U_i est la valeur de la tension d'apparition correspondante. (Pour la définition de la tension d'apparition, voir les paragraphes 3.5 et 3.5.1. Il est à remarquer que U_i est exprimé en valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$.)

3. Definitions

3.1 Partial discharges

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

Note. — The term “corona” is preferably reserved for partial discharges in gases around a conductor, bare or insulated, remote from any other solid insulation. It is also used in some countries, however, to apply to all the types of partial discharges dealt with in this Recommendation.

The term “ionization” describes any process producing positive or negative ions, or electrons, from neutral atoms or molecules and should not be used to denote partial discharges.

3.2 Partial discharge intensity

The amount of partial discharge occurring in any test object under given conditions may be described, in unspecified units, by the general term “discharge intensity”. Quantitative results of measurements are expressed in terms of one or more of the specified quantities defined in Sub-clauses 3.3 and 3.4. For information on the choice of quantity or quantities, see Clause 6.

3.3 Quantities related to individual discharges

3.3.1 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 absolute value $|q|$ of the apparent charge is often referred to as the discharge magnitude. The apparent charge is expressed in coulombs.

Note. — The apparent charge q so defined is not equal to the amount of charge actually transferred across the discharging cavity in the dielectric. It is used because discharge measuring instruments respond to this quantity.

3.3.2 Repetition rate, n

The partial discharge pulse repetition rate n is the average number of partial discharge pulses per second.

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.

3.3.3 Energy, w , of an individual partial discharge

The partial discharge energy w is the energy dissipated during one individual discharge: it is expressed in joules.

Note. — Under certain assumptions regarding the electrical representation of the physical phenomenon, this energy is given, in terms of q and U_i by:

$$w = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} q U_i$$

where:

q is the measured apparent charge

U_i is the corresponding value of the inception voltage. (For definition of the inception voltage, see Sub-clauses 3.5 and 3.5.1. Note that U_i is given as the peak value divided by $\sqrt{2}$.)

3.4 Grandeurs globales

A partir des grandeurs fondamentales q et n , on peut définir d'autres grandeurs, caractérisées par des sommations sur un intervalle de temps T . Cet intervalle de temps doit être long en comparaison de la durée d'un cycle de la tension appliquée à l'objet en essai.

3.4.1 Courant de décharges moyen, I

Le courant de décharges moyen, I , est la somme des valeurs absolues des charges passant à travers les bornes d'un objet en essai en raison des décharges partielles pendant un certain intervalle de temps, T , divisée par cet intervalle de temps :

$$I = \frac{1}{T} \left[|q_1| + |q_2| + |q_3| + \dots + |q_m| \right]$$

Si toutes les décharges ont une même amplitude, $|q|$, cette expression se ramène à :

$$I = n |q|$$

Le courant de décharges moyen est exprimé en coulomb/seconde (ampère).

3.4.2 Débit quadratique, D

Le débit quadratique, D , est la somme des carrés des charges passant à travers les bornes de l'objet en essai en raison des décharges partielles pendant un certain intervalle de temps, T , divisée par cet intervalle de temps :

$$D = \frac{1}{T} \left[q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + \dots + q_m^2 \right]$$

Si toutes les décharges ont la même amplitude, $|q|$, cette expression se ramène à :

$$D = n q^2$$

Le débit quadratique est exprimé en (coulomb)²/seconde.

3.4.3 Puissance de décharges, P

La puissance de décharges, P , est la puissance moyenne fournie aux bornes de l'objet en essai en raison des décharges partielles pendant un certain intervalle de temps, T .

Elle est donnée par :

$$P = \frac{1}{T} \left[q_1 U_1 + q_2 U_2 + q_3 U_3 + \dots + q_m U_m \right]$$

où :

$U_1, U_2, \dots, U_m$ sont les valeurs instantanées de la tension aux bornes de l'objet en essai, à l'instant des décharges $q_1, q_2 \dots q_m$

La puissance de décharges est exprimée en watts.

3.5 Valeurs de tension en rapport avec les décharges partielles

Au cours des essais de décharges partielles les valeurs de tension sont généralement données par leur valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$; voir paragraphe 5.1.3 de la Publication 60 de la CEI : Essais à haute tension. Les valeurs suivantes présentent un intérêt particulier.

3.4 Integrated quantities

From the basic quantities, q and n , other quantities can be defined, which are characterized by summations over a time interval, T . This time interval should be long compared with the duration of one cycle of the voltage supplied to the test object.

3.4.1 Average discharge current, I

The average discharge current, I , is the sum of the rectified charge quantities passing through the terminals of a test object due to partial discharges, during a certain time interval, T , divided by this time interval:

$$I = \frac{1}{T} \left[|q_1| + |q_2| + |q_3| + \dots + |q_m| \right]$$

If all discharges are of equal magnitude, $|q|$, this simplifies to:

$$I = n |q|$$

The average discharge is expressed in coulomb/second (ampere).

3.4.2 Quadratic rate, D

The quadratic rate, D , is the sum of the squares of the charges passing through the terminals of the test object due to partial discharges, during a certain time interval, T , divided by this time interval:

$$D = \frac{1}{T} \left[q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + \dots + q_m^2 \right]$$

If all discharges are of equal magnitude, $|q|$, this simplifies to:

$$D = n q^2$$

The quadratic rate is expressed in (coulomb)²/second.

3.4.3 Discharge power, P

The discharge power, P , is the average power fed into the terminals of the test object due to partial discharges during a certain time interval, T .

This is given by:

$$P = \frac{1}{T} \left[q_1 U_1 + q_2 U_2 + q_3 U_3 + \dots + q_m U_m \right]$$

where:

$U_1, U_2 \dots U_m$ are the instantaneous values of the voltage across the test object at the instants of discharges $q_1, q_2 \dots q_m$

The average discharge power is expressed in watts.

3.5 Voltage values related to partial discharges

Voltage values during partial discharge tests are usually given by their peak values divided by $\sqrt{2}$; see Sub-clause 5.1.3 of IEC Publication 60, High-voltage Test Techniques. The following values are of particular interest.

3.5.1 Tension d'apparition de décharges partielles, U_i

La tension d'apparition de décharges partielles, U_i , est la tension la plus basse à laquelle des décharges partielles dépassant une intensité spécifiée sont observées dans des conditions spécifiées (paragraphe 6.4), lorsque la tension appliquée à l'objet en essai est augmentée progressivement à partir d'une valeur inférieure, à laquelle de telles décharges ne sont pas observées.

3.5.2 Tension d'extinction de décharges partielles, U_e

La tension d'extinction de décharges partielles, U_e , est la tension à laquelle des décharges partielles dépassant une intensité spécifiée prennent fin dans des conditions spécifiées (paragraphe 6.4), lorsque la tension est diminuée progressivement à partir d'une valeur dépassant la tension d'apparition.

3.5.3 Tension d'essai assurée exempte de décharges

La tension d'essai assurée exempte de décharges est une tension spécifiée, appliquée avec une modalité d'essai spécifiée, pour laquelle l'objet en essai doit être exempt de décharges partielles dépassant une intensité spécifiée (paragraphe 6.4).

4. Circuits d'essai et instruments de mesure

4.1 Prescriptions générales

Dans cet article différents types de circuits d'essai sont brièvement décrits ainsi que des instruments de mesure des décharges partielles. Quel que soit le type de circuit d'essai et d'instrument de mesure utilisé, ceux-ci doivent avoir été contrôlés et étalonnés comme il est spécifié aux paragraphes 5.1 à 5.3.2 et doivent satisfaire aux prescriptions relatives à l'intensité minimale mesurable spécifiée par le Comité d'Etudes intéressé (paragraphe 6.1).

Sauf indication contraire du Comité d'Etudes intéressé, l'un quelconque des circuits mentionnés au paragraphe 4.2 et l'un quelconque des instruments mentionnés au paragraphe 4.3 sont acceptables.

Le Comité d'Etudes intéressé peut limiter le choix aux instruments mesurant une ou plusieurs grandeurs particulières. Dans ce cas, tout instrument mesurant cette ou ces grandeurs, inséré dans l'un quelconque des circuits de mesure, est en général considéré comme acceptable. Toutefois, pour des raisons techniques particulières, le Comité peut estimer nécessaire de spécifier de façon plus détaillée l'emploi d'un type déterminé d'instrument de mesure ou de circuit d'essai, ou de donner des prescriptions particulières qui ne sont pas du ressort de la présente recommandation.

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; aussi quelques indications sont-elles données à leur sujet au paragraphe 4.4.

4.2 Circuits d'essai

La plupart des circuits utilisés pour les essais de décharges partielles peuvent dériver de l'un ou l'autre des trois circuits de base représentés aux figures 1a, 1b et 1c, page 52; des variantes en sont représentées aux figures 2 et 3, page 53. 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});
- une impédance de mesure, Z_m (et parfois une deuxième impédance Z_{m1});

3.5.1 *Partial discharge inception voltage, U_i*

The partial discharge inception voltage U_i is the lowest voltage at which partial discharges exceeding a specified intensity are observed, under specified conditions (Sub-clause 6.4), when the voltage applied to the test object is gradually increased from a lower value at which no such discharges are observed.

3.5.2 *Partial discharge extinction voltage, U_e*

The partial discharge extinction voltage U_e is the voltage at which partial discharges exceeding a specified intensity cease, under specified conditions (Sub-clause 6.4), when the voltage is gradually decreased from a value exceeding the inception voltage.

3.5.3 *Assured partial discharge free test voltage*

The assured partial discharge free test voltage is a specified voltage applied in a specified test procedure, at which the test object should be free from partial discharges exceeding a specified intensity (Sub-clause 6.4).

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 checked and calibrated as specified in Sub-clauses 5.1 to 5.3.2 and should meet the requirements for minimum measurable intensity specified by the relevant Technical Committee (Sub-clause 6.1).

If not otherwise specified by the relevant Technical Committees, any of the test circuits mentioned in Sub-clause 4.2 and any of the instruments mentioned in Sub-clause 4.3 are acceptable.

The relevant Technical Committee may restrict the choice to instruments measuring one or more particular quantity or quantities. In this case, any instrument measuring this quantity or quantities, connected to any measuring circuit is in general considered acceptable. The Committee may also, however, for specific technical reasons, find it necessary to specify in more detail the use of a specific type of measuring instrument or test circuit, or to state particular requirements which are not covered by this Recommendation.

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

4.2 *Test circuits*

Most circuits in use for partial discharge tests can be derived from one or other of the three basic circuits, which are shown in Figures 1a, 1b and 1c, page 52; some variations of these circuits are shown in Figures 2 and 3, page 53. Each of these circuits consists mainly of:

- a test object, which in many cases can be regarded as a capacitor, C_a (see, however, Appendix C);
- a coupling capacitor, C_k (or a second test object C_{a1});
- a measuring impedance Z_m (and sometimes a second impedance Z_{m1});

- un instrument de mesure;
- parfois, une impédance ou un filtre, Z , afin de réduire les perturbations provenant de la source d'alimentation.

Le condensateur de liaison doit être exempt de décharges jusqu'aux plus hautes tensions d'essai. Dans quelques cas, surtout lorsqu'une grande capacité de liaison est nécessaire ou dans des circuits équilibrés, un deuxième objet à essayer est utilisé au lieu d'un condensateur de liaison.

L'impédance de mesure consiste généralement en une résistance ou un circuit accordé amorti. En général elle sert d'impédance de quadripôle. Cette impédance, en combinaison avec l'objet en essai et le condensateur de liaison, détermine la durée et la forme des impulsions mesurées. L'impédance de mesure peut également être constituée de façon à empêcher les composantes à la fréquence de la tension d'essai de parvenir à l'instrument.

Des décharges partielles dans l'objet en essai provoquent des transferts de charge dans le circuit qui donnent lieu à des impulsions de courant dans l'impédance de mesure. Les impulsions de tension qui en résultent sont ensuite mises en forme, amplifiées et rendues perceptibles dans les instruments de mesure.

Les caractéristiques particulières des différents montages sont examinées à l'annexe A.

4.3 Instruments de mesure

Les instruments de mesure des décharges partielles existants peuvent être classés de différentes façons. Dans les paragraphes 4.3.1 à 4.3.6, les principales prescriptions les concernant sont résumées en fonction des grandeurs à mesurer (définies aux paragraphes 3.3 et 3.4). Pour des indications plus complètes sur des types particuliers d'appareils, il y a lieu de se reporter aux publications.

Quelle que soit la forme de l'indication donnée par l'instrument de mesure, il est recommandé d'utiliser en outre un oscillographe, car il facilite la distinction entre différents types de décharges partielles ainsi qu'entre les décharges à mesurer et les perturbations extérieures (paragraphe 5.4.2). Une liste sommaire des instruments et des méthodes de mesure est donnée à l'annexe B.

4.3.1 Instruments de mesure des décharges individuelles

Les impulsions individuelles dues aux décharges, ayant des valeurs de crête proportionnelles aux valeurs correspondantes de la grandeur q , peuvent être observées sur l'écran d'un oscillographe à rayons cathodiques, en utilisant soit une base de temps elliptique parcourue en synchronisme avec la tension d'essai, soit une base de temps linéaire déclenchée, par exemple, par les impulsions dues aux décharges.

L'amplitude $|q|$ de la plus grande décharge produite pendant tout court intervalle de temps d'une certaine durée (de l'ordre de quelques cycles de la tension d'essai) peut aussi être mesurée avec un mesureur de valeur de crête comportant une échelle calibrée en picocoulombs.

La répartition de la fréquence de répétition en fonction de l'amplitude des impulsions peut être déterminée au moyen de compteurs d'impulsions (paragraphe 4.3.2).

Pour les mesures au voisinage de la tension d'apparition (lorsqu'il ne se produit qu'un petit nombre de décharges par période), le temps de résolution de l'instrument, ou les constantes de temps du voltmètre de crête, sont acceptables 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 instruments existants.

- a measuring instrument;
- sometimes an impedance or filter, Z , to prevent discharge pulses from being by-passed through the high-voltage supply and to reduce interference from the source.

The coupling capacitor should be free from discharges up to the highest test voltage. In some cases, especially if a large coupling capacitance is needed, or in balanced circuits, a second test object is used in place of the coupling capacitor.

The measuring impedance generally consists of a resistor or a damped tuned circuit. Usually it acts as a four-terminal impedance. This impedance, in combination with the test object and coupling capacitor, determines the duration and shape of the measured pulses. The measuring impedance can also be designed to prevent test supply frequency components from reaching the instrument.

Partial discharges in the test object cause charge transfers in the circuit, giving rise to current pulses through the measuring impedance. The resulting voltage pulses are further shaped, amplified and displayed in the measuring instrument.

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

4.3 *Measuring instruments*

Instruments available for partial discharge measurements may be classified in various ways. In Sub-clauses 4.3.1 to 4.3.6, their main requirements are summarized in accordance with the quantities to be measured (defined in Sub-clauses 3.3 and 3.4). For fuller particulars regarding specific types of instruments, reference should be made to the literature.

Whatever other form of indication may be given by the measuring instrument, it is recommended that an oscillograph 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 (Sub-clause 5.4.2). A summary list of measuring instruments and methods is given in Appendix B.

4.3.1 *Instruments for the measurement of individual discharges*

Individual discharge pulses, having peak values proportional to the corresponding discharge quantities, q , may be displayed on a cathode-ray oscillograph, using either a time base rotating synchronously with the test voltage or a linear time base, triggered for example by the discharge pulses.

The magnitude $|q|$ of the largest discharge during any short time interval (of the order of a few cycles of the test voltage) may alternatively be measured with a peak discharge meter having a scale calibrated in picocoulombs.

The distribution of repetition rates with respect to pulse magnitudes may be determined using pulse counters (Sub-clause 4.3.2).

For measurements around the inception voltage (when only a few discharges per cycle are involved) the resolution time of the instrument, or the time constants of the peak voltmeter, are acceptable if no error in amplitude measurement occurs due to overlapping of pulses when these are at least 100 μ s apart. Resolution times much shorter than this are desirable, however, and can be obtained with available instruments.

4.3.2 Instruments de mesure de la fréquence de répétition des impulsions

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) peut être utilisé pour la mesure de la fréquence de répétition n , pourvu que soient respectées certaines prescriptions concernant sa réponse. Généralement, un tel instrument comporte un discriminateur qui élimine les impulsions inférieures à une valeur réglable prédéterminée.

Quelques précautions sont nécessaires pour éviter d'obtenir plus d'une indication par impulsion si les impulsions arrivant aux bornes du compteur sont oscillatoires.

Note. — Pour certains usages il peut être utile que le discriminateur n'admette que les impulsions comprises entre des limites d'amplitude inférieure et supérieure préréglées.

4.3.3 Instruments de mesure du courant de décharges moyen

En principe, un instrument qui mesure la valeur moyenne des impulsions de courant dues aux décharges, après amplification linéaire et redressement, indiquera, moyennant un étalonnage approprié, la valeur du courant de décharges moyen, I , tel que défini au paragraphe 3.4.1. Des précautions sont nécessaires pour ne pas laisser inaperçues des erreurs 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 .

4.3.4 Instruments de mesure du débit quadratique

Un instrument qui mesure la valeur moyenne des carrés des amplitudes de décharge, par seconde, indiquera le débit quadratique, D , tel que défini au paragraphe 3.4.2. La mesure peut s'effectuer en faisant passer les impulsions amplifiées à travers un dispositif non linéaire 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 de l'instrument requièrent une attention particulière.

4.3.5 Montages de mesure de la puissance de décharges

Deux méthodes pour la mesure de la puissance de décharges sont brièvement décrites dans la Note Technique 1 (annexe F). Elles sont désignées par méthode du « tracé en boucle » et méthode du pont de Schering modifié; toutes les deux utilisent des circuits en pont, équilibrés pour la fréquence d'essai. Elles sont indiquées surtout pour les objets en essai présentant des intensités de décharges élevées; pour certains besoins, elles peuvent toutes les deux manquer de sensibilité.

Note. — L'emploi d'un wattmètre ordinaire, dont les deux enroulements reçoivent des courants proportionnels aux impulsions de courant des décharges et à la valeur instantanée de la tension d'essai, a été proposé. Ce procédé peut toutefois présenter des difficultés, car tout filtre utilisé pour obtenir une réjection à la fréquence d'essai supprimera également la composante à la fréquence d'essai des impulsions de décharge, qui est essentielle pour la mesure.

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

Outre les instruments qui viennent d'être décrits, des mesureurs de perturbations radioélectriques ordinaires sont parfois utilisés pour la mesure des décharges partielles. On trouvera à l'annexe D des informations sur la nature des indications données par ces appareils et sur la façon d'évaluer les résultats lorsqu'ils servent à la mesure des décharges partielles.

4.4 Méthodes non électriques de détection

Des méthodes non électriques de détection de décharges partielles sont brièvement commentées ci-dessous. Elles comprennent des méthodes acoustiques et optiques, ainsi que l'observation, lorsqu'elle peut être faite après l'essai, des effets des décharges sur l'objet en essai.

4.3.2 *Instruments for the measurement of pulse repetition rate*

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) can be used for measurement of the repetition rate, n , provided that certain requirements for its response are met. Usually, such counter instruments incorporate a magnitude discriminator which suppresses pulses below an adjustable pre-determined magnitude.

Some care is needed to avoid obtaining more than one count per pulse if the pulses reaching the terminals of the counter are oscillatory.

Note. — For some purposes it may be useful if the discriminator accepts pulses only between pre-set lower and upper limits of magnitude.

4.3.3 *Instrument for the measurement of average discharge current*

In principle, an instrument which measures 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 3.4.1. 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.

4.3.4 *Instrument for measurement of quadratic rate*

An instrument which measures the mean square value of the discharge magnitudes per second will indicate the quadratic rate, D , as defined in Sub-clause 3.4.2. 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 instrument require special consideration.

4.3.5 *Arrangements for the measurement of discharge power*

Two methods for the measurement of discharge power are briefly described in Technical Note 1 (Appendix F). These are the loop trace method and the modified Schering bridge method; both employ bridge circuits which are balanced for the test frequency. They are useful mainly for test objects having relatively high discharge intensities; for some purposes either of these methods may be too insensitive.

Note. — The use of a conventional wattmeter has been proposed, the two coils of which are supplied with currents proportional to the discharge current pulses, and to the instantaneous value of the test voltage. This may involve difficulties, however, because any filter used to reject the test frequency will also suppress the test frequency component of the discharge pulses, which is essential for the measurement.

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

In addition to the instrument described above, conventional radio interference meters are sometimes used for the measurement of partial discharges. Information is given in Appendix D on the units of measurement given by these meters, and on the evaluation of their readings when used for discharge measurements.

4.4 *Non-electrical methods of detection*

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

4.4.1 *Détection acoustique*

Des perceptions auditives, faites dans une salle à faible niveau de bruit, ont été utilisées pendant un certain temps comme moyen de détection des décharges partielles.

Des mesures acoustiques non subjectives, généralement faites avec des microphones ou d'autres transducteurs et des oscillographes, ont aussi été trouvées 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 d'effets de couronne dans l'air. Des transducteurs piézoélectriques associés à des oscillographes cathodiques sont également utilisés pour localiser des décharges dans les matériels immergés dans l'huile tels que les transformateurs; ils peuvent être situés à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve à huile.

4.4.2 *Détection visuelle et 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 photomultiplicateurs 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.

5. **Étalonnage et contrôle**

5.1 *Généralités*

L'étalonnage et le contrôle comprennent deux opérations distinctes; l'une consiste en une détermination complète des caractéristiques de l'instrument de mesure même, y compris un étalonnage détaillé, l'autre en un étalonnage de routine de l'instrument inséré dans le circuit d'essai complet. Ce dernier étalonnage doit comprendre la vérification que l'instrument, tel qu'il est utilisé dans le circuit d'essai, est capable de détecter l'intensité de décharges minimale spécifiée par le Comité d'Etudes intéressé (paragraphe 6.1).

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

5.2 *Détermination complète des caractéristiques de l'instrument de mesure*

La détermination complète des caractéristiques et l'étalonnage de l'instrument de mesure doivent être faits pour toutes ses gammes de mesure et dans toutes les conditions d'utilisation prévues. Son temps de réponse, la résolution des impulsions, la régularité du facteur d'échelle et la stabilité de tout dispositif d'étalonnage incorporé, etc., doivent être déterminés. L'impédance de mesure Z_m et le câble de liaison font partie intégrante de l'instrument et doivent être englobés dans l'étalonnage.

La détermination des caractéristiques de l'instrument doit, en général, comprendre la vérification de l'exactitude de sa réponse pour des impulsions d'amplitude croissante mais n'entraînant pas de surcharge, ainsi que la détermination du temps de résolution des impulsions. La première de ces opérations doit être faite à faible fréquence de répétition (de préférence environ 100 par seconde) en vue de mettre en évidence les limitations dues à la surcharge impulsionnelle de l'amplificateur. Le temps de résolution peut être déterminé au moyen d'impulsions d'amplitude constante et de fréquence de répétition croissante. Il peut dépendre des conditions du circuit d'essai qui influent sur la forme des impulsions.

4.4.1 *Acoustic detection*

Aural observations made in a room with low noise level have for some time been used as a means of detecting partial discharges.

Non-subjective acoustical measurements, usually made with microphones or other transducers and oscillographs, have also been found 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. Piezo-electric transducers, with cathode-ray oscillographs, are also 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 field-glasses of large aperture. Alternatively, a photographic record can be made, but fairly long exposure times are usually necessary. For special purposes, photo-multipliers 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.

5. **Calibration and checking**

5.1 *General*

Calibration and checking involve two separate procedures: one is a complete determination of the characteristics of the measuring instrument itself, including a detailed calibration, and the other is a routine calibration of the instrument in the complete test circuit. The latter calibration should include a verification that the instrument, as used in the test circuit, will detect the minimum discharge intensity which has been specified by the relevant Technical Committee (Sub-clause 6.1).

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

5.2 *Complete determination of instrument characteristics*

The complete determination of the characteristics and calibration of the measuring instrument should be made on all of its ranges of measurement, and for all intended conditions of use. Its response time, pulse resolution, consistency of scale factor and the constancy of any built-in calibrating devices, etc., should be determined. The measuring impedance, Z_m , and connecting cable are essential parts of the instrument and should be included in the calibration.

The determination of the instrument characteristics should, in general, include verification of its correct response to pulses of increasing magnitude, without overloading, and a determination of its pulse resolution time. The former test should be made at a low repetition rate (preferably about 100/second) to detect limitations due to pulse overloading in the amplifier. The resolution time may be determined by using pulses of constant magnitude and increasing repetition rate; it may be dependent on test circuit conditions which affect the pulse shape.

L'étalonnage de l'instrument doit être répété périodiquement, en totalité ou en partie, selon le besoin se dégageant de l'expérience.

5.2.1 Etalonnage des instruments de mesure de la charge apparente, q

L'étalonnage d'un instrument 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_o , à travers l'instrument (ou à travers les bornes de l'impédance de mesure Z_m). De telles impulsions peuvent être produites par un générateur émettant des échelons de tension rectangulaires d'amplitude U_o , en série avec une petite capacité connue C_o . Le temps de montée de l'échelon de tension doit être assez court, et la capacité C_o assez faible, pour que la durée de l'impulsion de courant traversant C_o soit petite par rapport au temps de réponse de l'instrument (ou par rapport à $1/f_2$, f_2 étant la limite supérieure de la courbe de réponse en fonction de la fréquence). Le temps d'amortissement de l'échelon de tension doit être long par rapport au temps de réponse. Dans ces conditions, l'impulsion d'étalonnage est équivalente à une décharge d'amplitude:

$$q_o = U_o C_o$$

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.

5.2.2 Etalonnage des instruments de mesure de I ou de D

Les instruments pour la mesure du courant de décharges moyen I ou du débit quadratique D sont étalonnés en injectant des impulsions comme cela est décrit au paragraphe 5.2.1 et les mêmes conditions doivent être remplies. En outre, la fréquence de répétition d'impulsions n doit être connue. Si les impulsions s'obtiennent à partir d'un générateur de tensions rectangulaires de fréquence fondamentale f_o et si les impulsions de courant des deux signes, positives et négatives, sont utilisées, la fréquence de répétition n_o doit être prise égale à $2f_o$. Dans ces conditions la lecture de l'instrument correspond à un courant de décharge moyen:

$$I = 2f_o \cdot U_o \cdot C_o$$

ou à un débit quadratique:

$$D = 2f_o \cdot (U_o C_o)^2$$

5.3 Etalonnage de l'instrument inséré dans le montage d'essai complet

L'étalonnage de l'instrument inséré dans le montage d'essai complet se fait en vue de déterminer le facteur par lequel il faut multiplier les indications de l'instrument pour obtenir la valeur de la grandeur désirée dans les conditions d'essai considérées, l'objet en essai étant inséré dans le montage. Ce facteur est influencé par les caractéristiques du circuit, notamment par le rapport de la capacité de l'objet en essai à celle du condensateur de liaison, C_a/C_k . C'est pourquoi l'étalonnage doit être répété pour chaque nouvel objet en essai, sauf dans le cas d'essais effectués sur des objets pratiquement identiques. 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 (paragraphe 5.4 et annexe E).

5.3.1 Etalonnage de montages pour la mesure de q , I ou D

L'étalonnage d'instruments de mesure de q , I ou D , 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 54. Dans le cas du circuit d'essai représenté à la figure 4b,

The calibration of the instrument should be repeated periodically, in whole or in part, as experience may show to be necessary.

5.2.1 Calibration of instruments measuring apparent charge, q

Calibration 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_0 , through the instrument (or through the measuring impedance Z_m). Such pulses may be produced by means of a generator giving rectangular step voltages of amplitude U_0 , in series with a small known capacitance C_0 . The rise time of the step voltage should be so short and the capacitance C_0 should be so small that the duration of the current pulse through C_0 is small compared with the response time of the instrument (or with $1/f_2$, where f_2 is the upper limit of the frequency response). The decay time of the step voltage should be long compared with this response time. Under these conditions, the calibration pulse is equivalent to a discharge of magnitude:

$$q_0 = U_0 C_0$$

As a source of calibration pulses with short rise times, small battery-operated pulse generators are in common use, employing either transistors or relays with mercury wetted contacts.

5.2.2 Calibration of instruments measuring I or D

Instruments for measuring average discharge current I , or quadratic rate D , are calibrated by injecting pulses in the same manner as described in Sub-clause 5.2.1, and the same requirements should be met. In addition the pulse repetition rate, n , must be known. If the pulses are derived from a rectangular voltage generator of fundamental frequency, f_0 , and if both positive and negative current pulses are used, the repetition rate n_0 will be equal to $2f_0$. Under these conditions the instrument reading corresponds to an average discharge current:

$$I = 2f_0 \cdot U_0 \cdot C_0$$

or to a quadratic rate:

$$D = 2f_0 \cdot (U_0 C_0)^2$$

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 factor by which the indication of the instrument has to be multiplied to give the desired quantity under the actual test conditions, with the test object connected. This factor is affected by the circuit characteristics, especially by the ratio of the test object capacitance to that of the coupling capacitor, C_k/C_a . Hence the calibration should be repeated for each new test object, except in cases where tests are made on a series of practically identical test objects. 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 intensity which can be measured. This minimum quantity is affected by the disturbance level and by the circuit characteristics (Sub-clause 5.4 and Appendix E).

5.3.1 Calibration of test arrangements for measurement of q , I or D

Calibration of instruments measuring q , I or D 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 54. In the case of the test circuit shown in Figure 4b, it is important to note that if the

il est important de noter que les résultats seraient erronés si les impulsions d'étalonnage étaient appliquées entre la borne à haute tension et la masse. Dans le même cas, des erreurs seront également introduites par la présence, entre le point de liaison de C_o avec le générateur d'échelons de tension et la terre, de toute capacité parasite de valeur non négligeable par rapport à celle de C_o .

Les impulsions d'étalonnage sont obtenues de la manière décrite au paragraphe 5.2.1 et doivent satisfaire aux prescriptions données aux paragraphes 5.2.1 et 5.2.2. En plus de ces prescriptions, la valeur C_o de la capacité d'étalonnage doit être inférieure à environ $0.1 C_a$, à moins que cette capacité ne reste branchée pendant l'essai. L'impulsion d'étalonnage est alors équivalente à une décharge d'amplitude:

$$q_o = U_o C_o$$

Un autre moyen d'obtention des impulsions d'étalonnage consiste à utiliser une source de décharges par effet de couronne (voir par exemple la Note Technique 2 (annexe G) et la figure 5, page 54). De tels dispositifs peuvent servir de moyen de contrôle secondaire d'instruments de mesure de la charge apparente, mais ils doivent eux-mêmes être étalonnés.

5.3.2 Etalonnage de montages d'essai pour la mesure de la puissance de décharges, P

Dans la Note Technique 1 (annexe F) sont donnés des renseignements sur le principe de fonctionnement et sur l'étalonnage du montage à tracé en boucle et du pont de Schering modifié pour la mesure de la puissance de décharges. On notera que dans ces cas, l'étalonnage et le contrôle de l'instrument même n'est pas distinct de l'étalonnage du circuit.

5.4 Perturbations

5.4.1 Sources de perturbations

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

- Les perturbations indépendantes, en principe, de la tension appliquée à l'objet en essai; 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.
- Les perturbations liées à la source de tension, qui croissent généralement avec la tension d'essai, mais qui ne se produisent pas dans l'objet en 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. Des perturbations peuvent aussi être transmises de la source à basse tension, où elles peuvent être causées par des décharges partielles ou des étincelles de contact.

5.4.2 Contrôle et réduction des perturbations

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

Les sources de perturbations dépendant de la tension sont généralement plus difficiles à déceler. Une méthode consiste à déconnecter l'objet en essai ou, de préférence, à lui substituer un objet exempt de décharges. Le circuit est alors mis sous tension au moins jusqu'à la pleine valeur de la tension d'essai.

L'emploi d'un oscillographe 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; l'effet de couronne (paragraphe 3.1), par exemple, se reconnaît facilement.

calibration pulses were applied between the high-voltage terminal and ground errors are likely to be introduced. In the same case, errors will also be caused by any stray capacitances to earth from the junction point of C_o and the step voltage generator unless these are negligible in comparison with that of C_o itself.

The calibration pulses are obtained in the same manner as described in Sub-clause 5.2.1 and should meet the same requirements as given in Sub-clauses 5.2.1 and 5.2.2. In addition to these requirements, the value C_o of the calibrating capacitor must be less than about $0.1 C_a$, unless this capacitor remains connected during the test. The calibration pulse is then equivalent to a discharge magnitude:

$$q_o = U_o C_o$$

Another way of obtaining calibration pulses is by means of a corona discharge source (see for example Technical Note 2 (Appendix G) and Figure 5, page 54). Such devices can be used as a secondary check of instruments measuring apparent charge, but they must themselves be calibrated.

5.3.2 Calibration of test arrangements for measurement of discharge power, P

Information is given in Technical Note 1 (Appendix F) on the operating principles and calibration of the loop trace arrangement and the modified Schering bridge for the measurement of discharge power. Note that in these cases, the calibration and checking of the instrument itself is not separated from the calibration of the circuit.

5.4 Disturbances

5.4.1 Sources of disturbances

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

- Disturbances, which are in principle independent of the voltage supplied to the test object, caused for example by switching operations in other circuits, commutating machines, high-voltage tests in the vicinity, radio transmissions, etc.
- Disturbances associated with the test voltage source, which usually increase with increasing test voltage, but which do not occur in the test object; these 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. Disturbances may also be transferred from the low voltage supply, caused by partial discharges or sparking contacts in this circuit.

5.4.2 Checking and reduction of 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 are generally more difficult to trace. One method is to disconnect the test object or preferably to replace it by a discharge free “dummy”. The circuit is then energized up to at least the full test voltage.

The use of an oscillograph 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; for instance corona (see explanation in Sub-clause 3.1) is easily recognized.

L'utilisation d'un circuit équilibré 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. Pour les mesures sur un objet composite, il peut permettre de distinguer les décharges de deux ou plusieurs parties.

Des méthodes de détection non électriques (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 véritables décharges partielles internes.

5.4.3 Niveaux de perturbations

On ne peut donner aucune valeur précise concernant l'importance des perturbations, mais à titre d'indication générale, on peut citer que des perturbations équivalentes à des décharges de quelques centaines de picocoulombs peuvent se rencontrer sur des plateformes industrielles non blindées, en particulier dans le cas de circuits d'essai de grandes dimensions géométriques. Par l'emploi de circuit d'essais équilibrés, de telles perturbations peuvent être ramenées en dessous de 10 pC.

Dans les locaux d'essai blindés, avec mise à la terre effective de toutes les masses conductrices et avec les précautions nécessaires 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. Celle-ci dépend du bruit thermique dans le circuit d'essai et dans l'amplificateur, ainsi que de la sensibilité de l'instrument lui-même (annexe E).

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 y interviennent. 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 (qui détermine en partie le choix de l'instrument de mesure, voir paragraphe 4.1) et la valeur requise de l'intensité minimale de décharges mesurable. On se reportera au paragraphe 5.4.3 et à l'annexe E pour les renseignements sur les limites pratiques de l'intensité minimale mesurable. Il importe que la grandeur mesurée, ainsi que la méthode de mesure et les données d'étalonnage, soient indiquées dans le rapport d'essai.

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 (traitement sous vide, imprégnation dans l'huile, exposition en atmosphère humide, contrainte électrique et mécanique, traitement thermique, etc.). Sauf spécification contraire, il doit être propre et sec et il doit être à la température ambiante pendant l'essai.

Note. — Pour assurer une bonne reproductibilité des résultats d'essais de décharges partielles, il importe que les conditions électriques, thermiques et mécaniques de l'objet en essai soient bien définies et stables. Des mises sous tension antérieures peuvent affecter les résultats. Après un transport ou une mise sous tension antérieure, il est donc recommandé de ménager un temps de repos avant de procéder à un essai de décharges partielles.

The use of a balanced circuit 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. In measurements on a composite test object, it may enable discharges at two or more sections to be distinguished.

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 in true internal partial discharges.

5.4.3 *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 pico-coulombs 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 reduced below 10 pC.

In electrically screened test rooms, with effective earthing of all conducting structures 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. This limit depends on thermal noise in the test circuit and amplifier and on the sensitivity of the instrument (Appendix E).

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 (which partly determines the choice of the measuring instrument, see Sub-clause 4.1) and the minimum measurable discharge intensity required. Reference should be made to Sub-clause 5.4.3 and to Appendix E for information on practical limits of minimum measurable intensity. It is important that the partial discharge quantity measured, together with the method of measurement and calibration data, should be recorded in the test report.

6.2 *Conditioning of the test object*

Before being tested, a test object should undergo the conditioning procedure specified by the relevant Technical Committee (treatment in vacuum, oil impregnation, exposure to humid atmosphere, electrical and mechanical stressing, thermal treatment, etc.). If not otherwise specified, it should be dry and clean, and it should be at ambient temperature during the test.

Note. — It is important, to ensure reproducibility of partial discharge test results, that the electrical, thermal and mechanical conditions of the test object are well defined and stable. Previous voltage applications may affect the test results. A rest interval after transport or previous voltage application is therefore recommended before making partial discharge tests.

6.3 Prescriptions relatives à la tension d'essai

Pour des essais de décharges partielles à tension alternative, la tension d'essai doit être conforme aux prescriptions du paragraphe 5.2.1 de la Publication 60 de la CEI.

Note. — Les harmoniques de rang élevé de la tension d'essai peuvent fausser les résultats, même s'ils sont de faible amplitude, soit en affectant les conditions de formation des décharges partielles, soit en agissant directement sur les indications de l'instrument. Ils doivent être réduits au moins jusqu'à ce que leur influence ne soit plus décelable à la sensibilité de mesure prescrite.

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 présentant un intérêt particulier sont donnés aux paragraphes 6.4.1, 6.4.2 et 6.4.3. Le premier est utilisé pour vérifier que l'objet en essai est exempt de décharges partielles significatives jusqu'à une tension d'essai spécifiée, le second pour déterminer les tensions d'apparition et d'extinction de décharges; le troisième pour mesurer l'intensité de décharges à une tension ou à des tensions comprises entre la tension d'apparition et la tension maximale d'essai diélectrique.

6.4.1 Vérification de la tension assurée exempte de décharges

Une tension très inférieure à la valeur spécifiée de la tension assurée exempte de décharges est appliquée à l'objet en essai, puis progressivement élevée jusqu'à cette valeur et maintenue pendant la durée spécifiée. Ensuite elle est abaissée et coupée. L'objet en essai est considéré avoir subi l'essai avec succès si les décharges n'ont pas excédé une faible intensité spécifiée.

Note. — Ce mode opératoire n'entraîne pas nécessairement que la tension d'extinction de décharges partielles est supérieure à la tension assurée exempte de décharges partielles.

6.4.2 Détermination de la tension d'apparition et de la tension d'extinction de 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 est notée lorsqu'elles atteignent cette limite. La tension est alors encore augmentée d'environ 10 %; ensuite elle est réduite à une valeur à laquelle les décharges disparaissent ou deviennent inférieures à l'intensité spécifiée, et la tension correspondant à cette limite est notée.

Ce processus est répété, sans couper l'alimentation de la source à haute tension, au moins trois fois ou jusqu'à ce que des valeurs cohérentes de la tension d'apparition et de la tension d'extinction soient obtenues. Si les valeurs ne sont pas cohérentes, un nombre suffisant d'observations doit être fait pour permettre d'obtenir des valeurs moyennes significatives ou mettre en évidence une tendance. Il y a lieu de remarquer que, pour certaines isolations, la tension d'extinction et la tension d'apparition lors d'essais consécutifs peuvent être influencées par la durée pendant laquelle la tension est maintenue au-dessus de la tension d'extinction.

En aucun cas, toutefois, la tension appliquée ne doit dépasser la tension d'essai diélectrique valable pour l'appareil en essai. Il y a lieu de remarquer que l'application répétée de tensions voisines de la tension d'essai diélectrique constitue un risque de détérioration pour des appareils contenant de l'huile ou une isolation solide.

Note. — Relative aux paragraphes 6.4.1 et 6.4.2.

Dans certains cas, des décharges partielles passagères apparaissent à une tension relativement basse et disparaissent tout aussitôt ou ensuite au cours de l'essai. Il est recommandé de mentionner dans le rapport d'essai la présence de telles décharges.

6.3 *Requirements for the test voltage*

For partial discharge tests with alternating voltage, the test voltage shall comply with the requirements of Sub-clause 5.2.1 of IEC Publication 60.

Note. — High harmonics of the test voltage, even though of small amplitude, may cause misleading results either by affecting the partial discharge conditions, or because they may directly influence the instrument readings. They should be reduced at least until their influence is undetectable at the required measurement sensitivity.

6.4 *Choice of test procedure*

The specification of procedures to be used for particular types of test and of 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 discharge measurement tests to other dielectric tests.

To assist in preparing such test specifications, three examples of procedures which are of particular interest are given in Sub-clauses 6.4.1, 6.4.2 and 6.4.3. The first is used to verify that the test object is free from significant partial discharges up to a specified test voltage; the second is used to determine the discharge inception and extinction voltages; and the third for measurement of the discharge intensity at a voltage or voltages in the range between the inception voltage and the maximum dielectric test voltage.

6.4.1 *Verification of the assured discharge-free voltage*

A voltage well below the specified assured discharge-free voltage is applied to the test object, gradually raised up to this voltage, and maintained for the specified time. Thereafter, it is decreased and switched off. The test object is considered to have passed the test if the discharges do not exceed a specified low intensity.

Note. — This procedure does not ensure that the partial discharge extinction voltage is higher than the assured discharge-free voltage.

6.4.2 *Determination of the partial discharge inception and extinction voltages*

A voltage well below the inception value is applied to the test object and gradually increased until discharges exceed a specified low intensity. The test voltage at this discharge limit is recorded. The voltage is then increased by about 10% and thereafter reduced to a value at which the discharges cease or become less than the specified intensity, and the voltage corresponding to this discharge limit is recorded.

The procedure is repeated at least three times, without switching off the high voltage source, or until consistent values of the inception and extinction voltage are obtained. If the values are not consistent, a sufficient number of observations should be made to establish significant average values, or to determine the presence of any trend. Note that, with some insulation systems, the extinction and subsequent inception values may be influenced by the time for which the voltage is maintained above the inception value.

In no circumstances, however, should the voltage applied exceed the dielectric test voltage applicable to the apparatus under test. Note that, in the case of apparatus with oil or solid insulation, there is some danger of damage from repeated voltage applications in the region of the dielectric test voltage.

Note. — To Sub-clauses 6.4.1 and 6.4.2.

In some cases, sporadic partial discharges appear at a relatively low voltage and disappear at once, or later during the test. It is recommended that the occurrence of such discharges be mentioned in the test report.

6.4.3 *Mesure de l'intensité de décharges partielles*

L'intensité de décharges partielles exprimée dans la grandeur spécifiée est mesurée à une tension spécifiée, qui peut être très supérieure à la tension d'apparition de 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 de décharges partielles est mesurée à la fin de cette durée, puis la tension est abaissée et coupée. Parfois l'intensité de décharges partielles est aussi mesurée pendant la période de croissance ou de décroissance de la tension ou pendant toute la durée de l'essai.

Note. — La grandeur utilisée pour la mesure des décharges doit présenter un certain degré de corrélation avec une éventuelle dégradation progressive de l'objet en essai considéré. La grandeur la mieux appropriée n'a pas encore été déterminée, et il est possible que la nocivité des décharges partielles ne puisse pas être exprimée au moyen d'une seule grandeur.

6.5 *Mesures sur des objets comprenant des enroulements*

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

6.4.3 *Measurement of partial discharge intensities*

The partial discharge intensity 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 intensity is measured at the end of this time, and thereafter the voltage is decreased and switched off. Sometimes the intensity of the discharges is also measured whilst the voltage is being increased or reduced or throughout the entire test period.

Note. — The quantity used as a measure of the discharges should bear some relationship to the progressive deterioration which might be caused in the test object in question. The most suitable quantity has not yet been established, and it may be that the deterioration due to partial discharges cannot be expressed in terms of any one single quantity.

6.5 *Measurements on test objects with windings*

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

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1998

ANNEXE A

CIRCUITS D'ESSAI

Les figures 1a, 1b et 1c représentent trois différents circuits d'essai fondamentaux utilisables pour la détection et la mesure des décharges partielles dans les matériels à haute tension. Ils sont brièvement décrits ci-dessous.

Figure 1a (page 52) :

Dans ce circuit, l'instrument est inséré dans la branche de mise à la terre du condensateur de liaison. Ce montage a l'avantage de la simplicité, l'objet en essai étant connecté directement entre la source à haute tension et la terre. Il est important d'obtenir (par l'impédance Z), entre l'objet en essai et la source à haute tension, un blocage efficace des composantes dont la fréquence est comprise dans la bande passante de l'instrument, sinon les impulsions dues aux décharges peuvent être dérivées à travers l'impédance de source.

Figure 1b (page 52) :

Dans ce circuit, l'instrument est inséré 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. Ce circuit présente quelque avantage pour la suppression des perturbations; si C_k est grand en comparaison de C_a , les perturbations sont réduites approximativement dans le rapport C_a/C_k .

Note. — Un circuit est parfois utilisé, semblable en principe à celui de la figure 1b, mais où C_k est nul. 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 rendu petit ou nul.

Figure 1c (page 52) :

Le montage représenté comprend un circuit équilibré dans lequel l'instrument 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 que les meilleurs résultats soient obtenus, il faut que leurs facteurs de pertes diélectriques soient les mêmes. 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'instrument de mesure. On peut obtenir des rapports de réduction allant de 3 (pour des échantillons totalement différents) à 10 000 (pour des échantillons identiques et bien blindés).

Figure 2 (page 53) :

A partir de ces circuits fondamentaux, de nombreuses variantes peuvent être formées. Le montage représenté à la figure 2, qui s'applique à des objets équipés de traversées-condensateurs, est équivalent à celui de la figure 1a, sauf que la capacité de la traversée sert de capacité de liaison C_k . Si la traversée a une prise de mesure reliée à la première électrode intermédiaire, 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. Si une telle prise n'existe pas, la bride de fixation de la traversée peut être isolée de la cuve de l'objet en essai pour recevoir la connexion de mesure; dans ce cas, la capacité en parallèle avec Z_m est généralement petite.

APPENDIX A

TEST CIRCUITS

Figures 1a, 1b and 1c show three different basic test circuits suitable for the detection and measurement of partial discharges in high-voltage equipment. These are briefly described below.

Figure 1a (page 52) :

The instrument in this circuit is placed at the earth side of the coupling capacitor. This arrangement has the advantage of simplicity, the test object being connected directly between the high-voltage source and earth. Good blocking of the test object from the high-voltage source for frequencies within the instrument bandwidth (by the impedance Z) is important, as otherwise discharge pulses may be by-passed through the source impedance.

Figure 1b (page 52) :

In this circuit, the instrument is placed at the earth side of the test object. The low-voltage side of the test object must therefore be isolated from earth. This circuit has some merits in suppressing interference; if C_k is large compared with C_a disturbances are decreased approximately in the ratio C_a/C_k .

Note. — A circuit is sometimes used which is essentially as shown in Figure 1b, but where C_k is zero. 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 small or zero.

Figure 1c (page 52) :

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. The capacitances of the parts connected to Z_m and Z_{m1} need not be equal but should preferably be of the same order, and for the best results their dielectric loss factors should be similar. The circuit has the merit of 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 maximum reduction of the instrument reading is obtained. Reduction ratios of from 3 (for totally unequal test objects) to 10 000 (for identical, well screened test objects) are possible.

Figure 2 (page 53) :

From these basic circuits, many variations can be derived. The arrangement shown in Figure 2, applicable to test objects fitted with capacitor bushings, is equivalent to that of Figure 1a except that the bushing capacitance is used in place of the coupling capacitor C_k . If the bushing has a tapping terminal at the first intermediate foil, the measuring impedance is connected to this terminal; in this case, a relatively large capacitance, C_m , appears across the measuring impedance. If no such terminal is provided, the bushing flange can be insulated from the housing of the test object and the measuring connection made to this flange, in which case, the capacitance across Z_m is likely to be small.

Figure 3 (page 53) :

La figure 3 représente une variante du circuit de la figure 1c. L'objet en essai peut être composé, par exemple, d'un tronçon de câble dont la gaine est remplacée par un revêtement semiconducteur sur une courte longueur approximativement en son milieu; de la même façon, elle est séparée des électrodes de masse des entrées. En effectuant l'équilibre avec différentes paires d'électrodes de masse branchées successivement au pont, les autres étant directement mises à la terre, la partie ou les parties donnant lieu à des décharges peuvent être identifiées.

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1968

Withdrawn

Figure 3 (page 53):

In Figure 3, a variation on the balanced circuit of Figure 1c is shown. The test object may, for example, comprise a piece of cable in which the sheath is replaced by a semiconducting layer over a short length at about its centre point; the sheath is also isolated in a similar manner from the earthed parts of the entrance bushings. By making balance adjustments with different pairs of earth potential electrodes connected to the bridge in turn, while the others are connected directly to earth, the discharging part or parts can be identified.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60270:1968

ANNEXE B

LISTE SOMMAIRE DES INSTRUMENTS ET DES MÉTHODES DE MESURE

Classe	Grandeur mesurée	Propriétés des différents instruments	Paragraphes correspondants
Instruments pour la mesure des impulsions individuelles (Utilisés dans des circuits d'essai équilibrés ou non-équilibrés)	Charge apparente, q	— Visualisation des impulsions individuelles sur l'écran d'un oscillographe à rayons cathodiques — Mesureur de valeur de crête (avec échelle graduée en picocoulombs pour lire q) — Bande passante large ou étroite	4.3.1 5.2.1
Mesureurs de fréquence de répétition et compteurs d'impulsions	Fréquence de répétition, n (en fonction de la charge apparente, q)	— Compteurs électroniques (qui indiquent le nombre d'impulsions en un temps donné) — Mesureurs de la fréquence des impulsions (qui indiquent le nombre d'impulsions moyen par seconde) — Discriminateurs pour ajuster l'étendue de mesure en amplitude	4.3.2
Instruments mesurant des grandeurs globales	Courant moyen, I	— Mesureur indiquant le courant de décharges moyen	4.3.3 5.2.2
	Débit quadratique, D	— Mesureur indiquant le débit quadratique — Détecteur quadratique, ou détecteur thermique	4.3.4 5.2.2
	Puissance de décharges, P	— Pont capacitif donnant le diagramme de l'énergie par cycle sur un oscillographe à rayons cathodiques (tracé en boucle), ou — Pont de Schering équilibré successivement avec un détecteur accordé à la fréquence de la tension d'essai, et avec un détecteur oscillographique	Annexe F
Mesureur de perturbations radio-électriques	Tension de quasi-crête	— Mesureur indiquant la tension de quasi-crête (échelle logarithmique) — Bande passante étroite (≈ 9 kHz) avec fréquence moyenne variable — Circuits de détection avec constantes de temps (déterminant l'influence de la fréquence de répétition, n)	Annexe D

Notes 1. — Les oscillographes à rayons cathodiques existant dans le commerce, comprenant des amplificateurs à large bande passante, peuvent être utilisés avec des mesureurs dont les indications sont uniquement données par un instrument à aiguille, pour observer la répétition des décharges dans le temps, les amplitudes relatives, la forme des impulsions, etc. Ils facilitent également la distinction entre les décharges partielles et les perturbations.

2. — Des transformateurs d'adaptation sont utilisés avec différents types d'instruments — voir l'annexe E, note 2.

3. — Des dispositifs d'étalonnage sont incorporés dans un grand nombre d'instruments. Voir cependant les paragraphes 5.2.1 et 5.3.1 concernant la prescription de générateurs d'impulsions séparés pour l'étalonnage du montage d'essai complet.

APPENDIX B

SUMMARY OF MEASURING INSTRUMENTS AND METHODS

Class	Measured quantity	Features available in various instruments	Relevant sub-clauses
Instruments measuring single pulses (Used in single-sided or balanced circuits)	Partial discharge magnitude, q	— Cathode-ray oscillograph display of individual pulses — Peak discharge indicating meter (calibrated in picocoulombs to read q) — Wide-band or narrow-band response	4.3.1 5.2.1
Pulse repetition rate meters and counters	Pulse repetition rate, n (in relation to magnitudes, q)	— Electronic counters (indicating number of discharges in given time) — Pulse rate meters (indicating average number of discharges/second) — Discriminators to adjust the range of measured magnitude	4.3.2
Instruments measuring integrated discharge quantities	Average current, I	— Indicating meter reading average discharge current	4.3.3 5.2.2
	Quadratic rate, D	— Indicating meter reading quadratic rate — Square law detector or thermal detector	4.3.4 5.2.2
	Discharge power, P	— Capacitance bridge giving cathode-ray oscillograph display of energy per cycle (loop trace) or — Schering bridge successively balanced with tuned detector and cathode-ray indicator	Appendix F
Radio-interference meters	Quasi-peak voltage	— Indicating meter reading quasi-peak voltage (logarithmic scale) — Narrow band response (≈ 9 kHz) with variable tuned frequency — "Weighting" circuits (determining influence of repetition rate, n)	Appendix D

Notes 1. — Commercially available cathode-ray oscillographs with wide-band amplifiers can be used with instruments giving only a meter indication, to observe discharge pulse distribution in time, relative magnitudes, pulse shape, etc. This also helps to distinguish between partial discharges and disturbances.

2. — Matching transformers are used with various types of instrument — see Appendix E, Note 2.
3. — Internal calibration pulse generators are incorporated in many instruments. See however Sub-clauses 5.2.1 and 5.3.1 concerning requirement of separate pulse generators for calibration of the complete test circuit.

ANNEXE C

MESURES SUR DES OBJETS AVEC ENROULEMENTS ET SUR DES CÂBLES

En principe, l'un quelconque des circuits d'essais décrits à l'annexe A peut être utilisé pour des objets avec enroulements et pour des câbles, c'est-à-dire pour des objets comportant des capacités et des inductances réparties. Pour certains de ces objets, la tension d'essai peut être induite; par exemple l'enroulement à haute tension d'un transformateur peut être excité par l'enroulement à basse tension; dans ce cas l'impédance Z et la source de tension U , représentées sur les figures 1 à 3, pages 52 et 53, n'ont pas de signification; il est alors recommandé de réduire les perturbations provenant de la source d'alimentation à basse tension au moyen de filtres passe-bas.

L'étude détaillée des mesures de décharges partielles sur des objets à constantes réparties n'est pas du domaine de la présente recommandation. Les points suivants sont toutefois d'une importance particulière et sont soumis à l'attention des Comités d'Etudes intéressés.

— *Phénomènes d'atténuation :*

En raison des phénomènes d'atténuation dans les enroulements ou le long des câbles, l'amplitude d'une grandeur relevée à une borne de l'objet en essai peut être différente de celle qui correspond au point où la décharge se produit.

— *Phénomènes de résonance, réflexions :*

La grandeur relevée à une borne d'un enroulement ou d'un câble en essai peut être modifiée par des phénomènes de résonance ou par des réflexions aux extrémités. Ceci présente une importance particulière si la bande passante de l'instrument utilisé est étroite.

— *Caractère de l'impédance :*

Un objet avec enroulement ne se comporte pas comme une simple capacité C_a , mais présente souvent les caractéristiques d'une impédance d'onde, généralement en parallèle avec une capacité localisée.

— *Localisation des décharges :*

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour localiser les décharges partielles dans des enroulements ou dans des câbles. Certaines de ces méthodes sont fondées sur des mesures simultanées à deux ou plusieurs bornes de l'objet en essai. Des méthodes non électriques (paragraphe 4.4) peuvent également être utilisées.

APPENDIX C

MEASUREMENTS ON TEST OBJECTS WITH WINDINGS AND ON CABLES

In principle, any of the test circuits described in Appendix A can be used for test objects with windings and for cables—that is for test objects with distributed capacitive and inductive elements. For some of these test objects, the test voltage may be induced; for example the high-voltage winding of a transformer may be excited from the low-voltage winding, in which case the impedance Z and the voltage source U , shown in Figures 1 to 3, pages 52 and 53, have no significance; it is then recommended that disturbances from the low-voltage supply should be reduced by the use of low-pass filters.

A detailed treatment of partial discharge measurements on objects with distributed elements is beyond the scope of this Recommendation. The following points, however, are of special importance and are particularly drawn to the attention of the relevant Technical Committees.

— *Attenuation phenomena:*

Due to attenuation within windings or along cables, the quantity which is recorded at a terminal of the test object may differ in magnitude from that at the point where it originates.

— *Resonance phenomena, reflections:*

The quantity recorded at a terminal of a winding or cable under test may be modified by resonance phenomena or by reflections at the terminals. This is especially important if the instrument used has a narrow-band frequency response.

— *Impedance characteristics:*

A test object with windings does not behave as a simple capacitance C_a , but often has the characteristics of a surge impedance, generally with some parallel lumped capacitance.

— *Location of discharges:*

Various methods can be used to locate partial discharges in windings or cables. Some of these methods are based on simultaneous measurements at two or more terminals of the test object. Non-electrical methods (Sub-clause 4.4) may also be applicable.

ANNEXE D

UTILISATION DE MESUREURS DE PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES POUR LA MESURE DES DÉCHARGES PARTIELLES

Des prescriptions relatives aux instruments couramment utilisés pour la mesure des perturbations radioélectriques sont données dans différentes spécifications. Leur réponse est en général déterminée par des filtres dont la bande passante a une largeur spécifiée de faible valeur et une fréquence centrale variable, et par un circuit de mesure de la valeur de crête dont la constante de temps à la charge τ_1 et la constante de temps à la décharge τ_2 ont des valeurs spécifiées. L'appareil indicateur est un instrument à cadre mobile à l'amortissement critique, de constante de temps mécanique τ_3 . Parfois de tels instruments sont également utilisés, à des fréquences de l'ordre de 1 MHz, pour la mesure des décharges partielles.

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 recommandation (paragraphes 3.3 et 3.4), mais ils donnent une indication générale de l'intensité de décharges.

La lecture du mesureur, U_r , dépend à la fois de l'amplitude $|q|$ et de la fréquence de répétition n des décharges partielles. Pour de courtes impulsions, à répétition régulière, la lecture est approximativement donnée par:

$$U_r \approx |q| \cdot f(n) \cdot \Delta f \cdot Z_m \cdot k$$

où:

$f(n)$ est une fonction non linéaire de n

Δf est la largeur de la bande passante de l'instrument

Z_m est la valeur d'une impédance de mesure purement résistive

k est un coefficient dont la valeur dépend du circuit et de l'objet

La lecture est donc proportionnelle à l'amplitude de décharge $|q|$ et à la largeur de la bande passante de l'instrument. En pratique, elle peut ne pas être proportionnelle à l'impédance Z_m si celle-ci présente une capacité ou une inductance parasite. Le facteur $f(n)$ n'est pas rigoureusement applicable si la distribution dans le temps des impulsions de décharges est irrégulière.

L'un de ces instruments, désigné par voltmètre de quasi-crête, est décrit dans la Publication 1 du CISPR: Spécification de l'appareillage de mesure CISPR pour les fréquences comprises entre 0,15 et 30 MHz. Celle-ci spécifie une largeur de bande Δf de 9 kHz et des constantes de temps $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms et $\tau_3 = 160$ ms. Pour la mesure des perturbations radioélectriques, l'instrument est étalonné au moyen d'une tension sinusoïdale à la fréquence d'accord et les tensions perturbatrices sont évaluées conventionnellement en valeur efficace d'une tension sinusoïdale équivalente. L'application, à l'entrée de l'instrument, d'impulsions courtes et constantes de 0,158 μ Vs, à répétition régulière à une fréquence égale à 100 par seconde, donnera la même lecture qu'un signal d'entrée sinusoïdal à la fréquence d'accord d'une valeur efficace de 1 000 μ V. La variation $f(n)$ de la lecture de cet instrument avec la fréquence de répétition n est représentée à la figure 6, page 54.

Le premier complément à la Publication du CISPR mentionnée ci-dessus (Publication 1A du CISPR) donne des spécifications relatives à l'utilisation de cet instrument pour la mesure des perturbations radioélectriques engendrées par le matériel à haute tension. Deux circuits d'essai y sont décrits, qui concordent dans leur principe avec ceux des figures 1a et 1b (page 52) et qui sont également applicables pour la mesure des décharges partielles.

APPENDIX D

THE USE OF RADIO INTERFERENCE METERS FOR THE MEASUREMENT OF PARTIAL DISCHARGES

Requirements for instruments in common use for radio interference measurements are given in various specifications. Their response is generally determined by filters having a specified small bandwidth and variable mean frequency and by a peak measuring circuit with a specified charging time constant τ_1 , and discharge time constant τ_2 . The indicating meter is a moving coil instrument, critically damped and having a mechanical time constant τ_3 . Such instruments are sometimes used also, at frequencies of the order of 1 MHz, for the measurement of partial discharges.

Because of their special characteristics, radio interference meters do not directly indicate any of the partial discharge quantities defined in this Recommendation (Sub-clauses 3.3 and 3.4) but they give a general indication of discharge intensity.

The meter reading U_r , depends both on the partial discharge magnitude q and repetition rate n . For short, regularly repeated pulses, the reading is approximately given by:

$$U_r \approx |q| \cdot f(n) \cdot \Delta f \cdot Z_m \cdot k$$

where:

$f(n)$ is a non-linear function of n

Δf is the instrument bandwidth

Z_m is the value of a purely resistive measuring impedance

k is a coefficient the value of which depends on the test circuit and the test object

The reading is thus proportional to the discharge magnitude $|q|$ and to the instrument bandwidth. It may not in practice be proportional to Z_m if this has stray capacitance or inductance. The factor $f(n)$ is not strictly applicable if the discharge pulses are irregularly distributed in time.

One such instrument, designed as a quasi peak voltmeter, is described in CISPR Publication 1, Specification for CISPR Radio Interference Measuring Apparatus for the Frequency Range 0.15 Mc/s to 30 Mc/s. This specifies a bandwidth Δf of 9 kHz and time constants of $\tau_1 = 1$ ms, $\tau_2 = 160$ ms and $\tau_3 = 160$ ms. For the measurement of radio interference, the instrument is calibrated using a sinusoidal voltage at the frequency to which the instrument is tuned and the interference voltage is conventionally expressed as the r.m.s. value of an equivalent sinusoidal voltage. Short and constant pulses of 1.158 μ Vs applied to the instrument with a regular repetition rate of 100 per second should give the same reading as a sine wave input of 1 000 μ V r.m.s. at the tuned frequency. The variation $f(n)$ of the reading with repetition rate n for this instrument is shown in Figure 6, page 54.

The first Supplement to the above-mentioned CISPR Publication (CISPR Publication 1A), gives specifications for the use of this instrument for measurement of the radio noise voltage generated by high-voltage equipment. Two test circuits are described therein which agree essentially with those of Figures 1a and 1b, page 52, and are also applicable for the measurement of partial discharges.

Si un mesureur de perturbations radioélectriques doit être utilisé pour la mesure de décharges partielles, il doit être étalonné, et contrôlé dans le circuit d'essai particulier, conformément au paragraphe 5.3.1. Il est recommandé, pour cela, de procéder par l'application d'impulsions q_0 à répétition régulière à une fréquence approximativement égale à deux fois la fréquence de la tension d'essai. Pendant un essai au voisinage de la tension de seuil où le nombre d'impulsions par période est généralement petit, l'amplitude de décharges partielles est alors obtenue approximativement en multipliant q_0 par le rapport de lecture de l'instrument pendant l'essai et pendant l'étalonnage. Cette relation est encore valable dans un domaine limité de fréquences de répétition, où la variation des lectures dues au facteur $f(n)$ est petite.

Chaque fois que des mesures faites avec un mesureur de perturbations radioélectriques sont chiffrées, on doit de préférence indiquer à la fois la valeur en microvolts et une valeur estimée d'amplitude de décharge équivalente.

Note. — Lorsque aucun étalonnage n'a été fait, et à condition d'appliquer le facteur approprié qui traduit l'influence des paramètres du circuit d'essai, l'équivalence de 1 μV et de 1 pC peut être admise comme approximation grossière pour les mesures de décharges permanentes, faites au voisinage de la tension d'apparition pendant les essais à 50 Hz (c'est-à-dire lorsque $n \approx 100$ impulsions par seconde), avec une résistance de mesure de 150 Ω .

If a radio interference meter is to be used for partial discharge measurements, it should be calibrated and checked in the actual test circuit according to Sub-clause 5.3.1. It is recommended that this be done by the application of regularly repeated pulses q_0 with a repetition rate equal to approximately twice the frequency of the test voltage. The partial discharge magnitude, during an actual test near the inception voltage where the number of pulses per cycle is usually small, is then approximately q_0 multiplied by the ratio of the instrument reading during the test to that during the calibration. This relationship also applies over a limited range of pulse repetition rates where the variation of readings due to the factor $f(n)$ is small.

Whenever measurements made with a radio interference meter are quoted, both the value in microvolts and an estimated equivalent discharge magnitude should preferably be stated.

Note. — As a very approximate conversion, where no calibration has been made, and subject to applying the appropriate factor for the effect of test circuit parameters, the equivalence of $1\ \mu\text{V}$ to $1\ \text{pC}$ may be assumed for measurements of continuous discharges near the discharge inception voltage during tests at 50 Hz (that is when $n \approx 100$ pulses/second), using $150\ \Omega$ measuring resistance.

ANNEXE E

VALEURS MINIMALES MESURABLES

La valeur minimale de l'intensité de décharges partielles qui peut être mesurée dans un essai particulier est en général limitée par les perturbations (voir paragraphe 5.4.3). Toutefois, lorsque celles-ci sont pratiquement éliminées par un blindage approprié ou par l'emploi d'un circuit d'essai équilibré, les limites sont déterminées par le niveau de bruit propre de l'instrument et par les valeurs des paramètres du circuit d'essai, principalement de C_a , C_k , Z_m et d'une éventuelle capacité C_m en parallèle avec Z_m . Généralement, l'intensité minimale mesurable croît pour des valeurs croissantes de C_a , C_m , $1/Z_m$ et du rapport C_a/C_k .

Des valeurs représentatives des intensités minimales qui peuvent être mesurées en pratique avec des instruments existants, dans des conditions favorables, sont données dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs se rapportent à des circuits d'essai dans lesquels $C_k \approx C_a$. Dans le cas particulier où $C_k = 10^4$ pF, elles se rapportent à une résistance Z_m de 100 Ω , correspondant à une constante de temps ($\frac{1}{2} C_a Z_m$) de 0,5 μ s, mais voir la note 2. Ces valeurs sont valables si les perturbations extérieures sont suffisamment faibles; les plateformes industrielles ne sont souvent pas dotées du blindage nécessaire pour remplir cette condition.

Grandeur mesurée	$C_a = 100$ pF	$C_a = 10^4$ pF	$C_a = 10^7$ pF
Amplitude de décharge - $ q $ (coulomb)	$0,01 \times 10^{-12}$	$0,2 \times 10^{-12}$	5×10^{-12}
Courant de décharges moyen - I (coulomb/seconde)	$0,01 \times 10^{-9}$	$0,2 \times 10^{-9}$	20×10^{-9}
Débit quadratique - D (coulomb ² /seconde)	$0,5 \times 10^{-21}$	2×10^{-21}	$20\,000 \times 10^{-21}$
Puissance de décharges - P (watt)	La valeur minimale mesurable de la puissance de décharge dépend de la tension d'essai (paragraphe 3.5). Elle correspond généralement à un courant de décharges moyen I plus grand que ceux indiqués ci-dessus		

Notes 1. — Les valeurs minimales de courant moyen et de débit quadratique données dans le tableau, pour $C_a = 10^4$ pF, correspondent à des décharges d'amplitude 2 pC et 4,5 pC respectivement, répétées 100 fois par seconde. Une puissance de décharges correspondant à des décharges d'environ 50 pC répétées 100 fois par seconde peut être mesurée par la méthode du « tracé en boucle » décrite au paragraphe 4.3.5 et dans la Note Technique 1 (annexe F).

2. — Dans de nombreux cas, un transformateur de couplage interposé entre le circuit d'essai et l'instrument augmente la sensibilité de mesure pour des objets en essai ayant une capacité de très faible ou de très forte valeur. Avec une valeur optimale du rapport d'un tel transformateur, et avec une valeur appropriée de C_k , l'intensité minimale mesurable est approximativement proportionnelle à $\sqrt{C_a}$, dans une grande plage de valeurs de C_a .

APPENDIX E

MINIMUM MEASURABLE QUANTITIES

The minimum partial discharge intensity which can be measured in a particular test is in general limited by disturbances (see Sub-clause 5.4.3). However, where these are effectively eliminated by suitable screening or by using a balanced test circuit, the limits are 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 intensity increases with increase in the values of C_a , C_m , $1/Z_m$ and the ratio C_a/C_k .

Representative values of minimum quantities which can be measured in practice with existing instruments, under favourable conditions are given in the table below. These values relate to test circuits in which $C_k \approx C_a$. In the particular case when $C_a = 10^4$ pF, the values relate to a resistance Z_m of 100 Ω , corresponding to a time constant ($\frac{1}{2} C_a Z_m$) of 0.5 μ s, but see Note 2. The values are applicable when external disturbances are sufficiently small; in industrial test areas, the screening necessary to meet this requirement is often not available.

Quantity measured	$C_a = 100$ pF	$C_a = 10^4$ pF	$C_a = 10^7$ pF
Discharge magnitude - $ q $ (coulomb)	0.01×10^{-12}	0.2×10^{-12}	5×10^{-12}
Average partial discharge current - I (coulomb/second)	0.01×10^{-9}	0.2×10^{-9}	20×10^{-9}
Quadratic rate - D (coulomb ² /second)	0.5×10^{-21}	2×10^{-21}	$20\,000 \times 10^{-21}$
Discharge power - P (watt)	The minimum measurable discharge power depends on the test voltage (Sub-clause 3.5). Its value usually corresponds to a mean discharge current I larger than those indicated above		

Notes 1. — The minimum values of average current and of quadratic rate given in the table, for $C_a = 10^4$ pF, correspond to discharges of magnitude of 2 pC and 4.5 pC respectively, repeated 100 times per second. A discharge power corresponding to about 50 pC at 100 repetitions/second can be measured by the "loop trace" method described in Sub-clause 4.3.5 and Technical Note 1 (Appendix F).

2. — The use of a matching transformer between the test circuit and the instrument in many cases increases the sensitivity of measurement for tests objects of very small or very large capacitance. With such a transformer of optimum ratio and a suitable value of C_k , the minimum measurable quantity is approximately proportional to $\sqrt{C_a}$ over a wide range of values of C_a .

ANNEXE F

NOTE TECHNIQUE 1 — MÉTHODES POUR LA MESURE DE LA PUISSANCE DE DÉCHARGES

Ci-dessous sont décrits deux montages utilisés pour la mesure de la puissance des décharges partielles. Les prescriptions concernant leur étalonnage sont indiquées.

La méthode de tracé en boucle

La méthode de tracé en boucle emploie un circuit en pont dont l'une des formes est représentée sur la figure 7a, page 55. Les impulsions de décharges qui se produisent pendant chaque alternance sont intégrées dans le condensateur à basse tension C_2 , et la différence de tension résultante entre les points 1 et 2 est appliquée à l'une des paires de plaques de déviation d'un oscillographe à rayons cathodiques: elle peut être transmise par l'intermédiaire d'un amplificateur différentiel ou d'un transformateur d'impulsions à haute impédance et d'un amplificateur ayant une réponse constante jusqu'à des fréquences bien inférieures à celle de la tension d'essai. A l'autre paire de plaques on applique une fraction convenable de la tension d'essai. Le réglage de l'équilibre est fait de façon à obtenir une réponse nulle pour une tension d'essai légèrement inférieure à la tension d'apparition de décharges.

Aux tensions donnant lieu à des décharges dans l'objet en essai, l'aire de l'oscillogramme (figure 7b, page 55) représente alors l'énergie par cycle due aux seules décharges. On suppose, en utilisant cette méthode, qu'en dehors de l'effet des décharges partielles, le facteur de pertes ne varie pas avec la tension.

L'étalonnage comprend seulement la détermination des coefficients d'échelle de l'oscillographe a_x , en volt par centimètre, pour la tension d'essai appliquée (valeur instantanée) et a_y , en coulomb par centimètre, pour la charge injectée dans le condensateur à basse tension C_2 (figure 7a). La façon la plus commode de déterminer ce dernier est de faire passer par C_2 un courant alternatif connu I_0 (valeur de crête) de fréquence f , ce qui correspond à un transfert de charge à travers C_2 de $I_0/\pi f$ à chaque alternance. Si les erreurs d'amplitude et de phase à la fréquence d'essai sont négligeables, la puissance est alors donnée par:

$$P = A f a_x a_y$$

où:

A est l'aire en centimètres carrés du diagramme s'inscrivant sur l'écran de l'oscillographe (figure 7b)

f est la fréquence de la tension d'essai.

La méthode du pont de Schering modifié

Pour mesurer la puissance dissipée par l'effet des décharges partielles dans un objet en essai, un pont de Schering ordinaire peut être modifié par l'adjonction d'un oscillographe à rayons cathodiques doté d'un amplificateur différentiel à réponse constante jusqu'à des fréquences bien inférieures à celle de la tension d'essai (figure 8a, page 56). Le pont est d'abord équilibré, à la tension d'essai, de façon habituelle, en utilisant un galvanomètre ou un indicateur sensible accordé à la fréquence de la tension d'essai. Si des décharges se produisent, et si l'oscillographe à rayons cathodiques est branché à la place du galvanomètre, on observe alors une allure semblable à celle de la figure 8b1, page 56. On se sert ensuite de l'oscillographe pour refaire l'équilibre du pont pour les composantes normales de courant de capacité et de pertes diélectriques, en faisant abstraction des impulsions dues aux décharges. Cet équilibre est indiqué par une forme d'oscillogramme semblable à celle de la figure 8b2, page 56, dans laquelle les impulsions dues aux décharges se détachent d'une ligne pratiquement droite (abstraction faite des composantes à fréquences harmoniques de la tension d'essai).

APPENDIX F

TECHNICAL NOTE 1 — METHODS FOR MEASUREMENT OF PARTIAL DISCHARGE POWER

The following are two test circuits which are in use for the measurement of partial discharge power. The requirements for their calibration are indicated.

The loop trace method

The loop trace method uses a bridge circuit, one form of which is shown in Figure 7a, page 55. Discharge pulses occurring in each half cycle are integrated in the low voltage capacitor C_2 , and the resulting voltage difference between points 1 and 2 is applied to one pair of deflecting plates of a cathode-ray oscillograph; it may be transferred via a differential amplifier, or a high impedance pulse transformer and amplifier, having constant frequency response to well below the test frequency. To the other pair, a suitable fraction of the test voltage is applied. Balance adjustment is made, at a voltage just below the discharge inception voltage, so as to give zero response to the test frequency voltage.

At voltages where discharges occur in the test object, the area of the oscillogram, Figure 7b, page 55, then represents the energy per cycle due to the discharges only. It is assumed in using this method that, apart from the effect of partial discharges, the dielectric loss factor does not vary with voltage.

Calibration involves only determination of the oscillograph scale coefficient a_x in volt/centimetre for the test voltage (instantaneous value) and a_y in coulomb/centimetre for the charge injected into the low-voltage capacitor C_2 , Figure 7a. The latter factor can most easily be found by passing a known alternating current I_0 (peak), of frequency f , through C_2 . This corresponds to a charge transfer of $I_0/\pi f$ in each half cycle. If amplitude and phase errors at the test frequency are negligible, the power is then given by:

$$P = A f a_x a_y$$

where:

- A is the area in square centimetres of the diagram traced out on the oscillograph screen (Figure 7b)
- f is the frequency of the test voltage.

The modified Schering bridge method

A conventional Schering bridge may be modified for the measurement of the power loss due to partial discharges in a test object, by the addition of a cathode-ray oscillograph having a differential amplifier with flat response well below the test frequency (Figure 8a, page 56). The bridge is first balanced at the test voltage, in the conventional way, using a sensitive galvanometer or indicator tuned to the test frequency. If the cathode-ray oscillograph is then connected in place of the galvanometer, and discharges are occurring, it will show a pattern similar to Figure 8b1, page 56. The oscillograph is then used to re-balance the bridge for the normal dielectric loss and capacitance currents, ignoring the discharge pulses. This is indicated by an oscillogram similar to Figure 8b2, page 56, in which the discharge pulses appear to rise from a practically straight line (neglecting any harmonics of the test frequency).

Les valeurs de la capacité C_a et du facteur de pertes diélectriques $\operatorname{tg} \delta$ de l'objet en essai sont calculées à partir des valeurs des éléments du pont, pour chacune des deux conditions d'équilibre. De ces valeurs et de la tension d'essai connue, U , on déduit deux valeurs de pertes diélectriques de l'objet en essai, P_1 et P_2 , par les relations suivantes:

$$P_1 = U^2 \omega C_{a1} \operatorname{tg} \delta_1, \quad P_2 = U^2 \omega C_{a2} \operatorname{tg} \delta_2$$

où:

U est la valeur efficace de la tension d'essai

$\omega = 2\pi f$ est la pulsation

Les indices 1 et 2 se rapportent à la première et à la seconde mesures.

La puissance des décharges est alors donnée par:

$$P = P_1 - P_2$$

La méthode du pont de Schering modifié n'implique pas la présomption d'un facteur de pertes diélectriques constant à tension variable. L'étalonnage du pont de Schering n'est pas nécessaire, à part la vérification de la précision des valeurs des éléments du pont et de l'instrument utilisé pour la mesure de la tension d'essai.