

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

Withdrawn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 :

$$D = nq^2$$

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, P , 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.