NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
156

Deuxième édition
Second edition
1995-07

Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai

Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 156: 1995

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

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

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
156

Deuxième édition
Second edition
1995-07

Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai

Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright – all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE L

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

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 4

INTRODUCTION 6

Articles

1 Domaine d'application 8

2 Références normatives 8

3 Appareillage électrique 8

3.1 Régulateur de tension 8

3.2 Transformateur élévateur 10

3.3 Résistances de limitation de courant 10

3.4 Disjoncteur 10

3.5 Dispositif de mesurage 12

4 Dispositif d'essai 12

4.1 Cellule d'essai 12

4.2 Electrodes 12

4.3 Agitation (facultative) 14

5 Préparation des électrodes 14

6 Préparation du dispositif d'essai 14

7 Echantillonnage 16

7.1 Récipient d'échantillonnage 16

7.2 Technique d'échantillonnage 16

8 Etat de l'échantillon 16

9 Mode opératoire 16

9.1 Préparation de l'échantillon 16

9.2 Remplissage de la cellule 18

9.3 Application de la tension 18

10 Rapport 18

11 Dispersion des résultats 18

Figures 20

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

INTRODUCTION 7

Clause

1 Scope 9

2 Normative references 9

3 Electrical apparatus 9

3.1 Voltage regulator 9

3.2 Step-up transformer 11

3.3 Current-limiting resistors 11

3.4 Switching system 11

3.5 Measuring device 13

4 Test assembly 13

4.1 Test cell 13

4.2 Electrodes 13

4.3 Stirring (optional) 15

5 Preparation of electrodes 15

6 Test assembly preparation 15

7 Sampling 17

7.1 Sample containers 17

7.2 Sampling technique 17

8 Condition of the sample 17

9 Test procedure 17

9.1 Sample preparation 17

9.2 Filling of the cell 19

9.3 Application of voltage 19

10 Report 19

11 Test data dispersion 19

Figures 20

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ISOLANTS LIQUIDES – DÉTERMINATION DE LA TENSION DE CLAQUAGE À FRÉQUENCE INDUSTRIELLE –

MÉTHODE D'ESSAI

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.

2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.

3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.

4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 156 a été établie par le comité d'études 10 de la CEI: Fluides pour applications électrotechniques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1963 et constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
10/338/DIS	10/346/RVD

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

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSULATING LIQUIDS – DETERMINATION OF THE BREAKDOWN VOLTAGE AT POWER FREQUENCY – TEST METHOD

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.

2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, 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.

3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.

4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 156 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1963 and constitutes a technical revision.

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

DIS	Report on voting
10/338/DIS	10/346/RVD

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

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTRODUCTION

La tension de claquage des isolants liquides, telle qu'elle est généralement appliquée, n'est pas une propriété fondamentale du matériau, mais une procédure d'essai empirique destinée à révéler la présence de produits contaminants comme l'eau ou des matières solides en suspension, et de permettre ainsi de décider de l'opportunité d'effectuer un traitement de séchage et de filtration.

La valeur de la tension de claquage des isolants liquides dépend beaucoup de l'ensemble des conditions particulières employées dans sa détermination. En conséquence, des modes opératoires et un équipement normalisés sont essentiels pour interpréter sans ambiguïté les résultats d'essai.

La méthode décrite dans la présente norme internationale peut s'appliquer soit aux essais de réception de nouvelles livraisons d'isolants liquides, soit aux essais de liquides traités, avant ou pendant le remplissage de matériels électriques, soit au cours de la surveillance et de la maintenance des appareils remplis d'huile en service. Elle prescrit des méthodes rigoureuses de manipulation des échantillons et de vérification des températures, auxquelles il convient de se conformer quand des résultats certifiés sont réclamés. Dans les essais de routine, particulièrement en exploitation, des procédures moins rigoureuses peuvent être appliquées et c'est alors la responsabilité de l'utilisateur de déterminer leurs effets sur les résultats obtenus.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTRODUCTION

As normally applied, breakdown voltage of insulating liquids is not a basic material property but an empirical test procedure intended to indicate the presence of contaminants such as water and solid suspended matter, and the advisability of carrying out drying and filtration treatment.

The breakdown voltage value of insulating liquids strongly depends on the particular set of conditions used in its measurement. Therefore, standardized testing procedures and equipment are essential for the unambiguous interpretation of test results.

The method described in this International Standard applies to either acceptance tests on new deliveries of insulating liquids, or testing of treated liquids prior to or during filling into electrical equipment, or to the monitoring and maintenance of oil-filled apparatus in service. It specifies rigorous sample-handling procedures and temperature control that should be adhered to when certified results are required. For routine tests, especially in the field, less stringent procedures may be practicable and it is the responsibility of the user to determine their effect on the results.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ISOLANTS LIQUIDES – DÉTERMINATION DE LA TENSION DE CLAQUAGE À FRÉQUENCE INDUSTRIELLE –

MÉTHODE D'ESSAI

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit la méthode de détermination de la tension de claquage diélectrique des isolants liquides à fréquence industrielle. Le liquide en essai, contenu dans un appareil spécifié, est soumis à un champ électrique alternatif croissant, obtenu par augmentation de la tension, à vitesse constante, jusqu'à l'obtention du claquage.

La méthode est applicable à tous les types d'isolants liquides de viscosité nominale allant jusqu'à 350 mm^2s^{-1} à 40 °C. Elle convient aussi bien pour les essais d'acceptation de liquides neufs à la livraison que pour définir l'état d'échantillons d'isolants liquides prélevés lors de la surveillance et de la maintenance des matériels immergés.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 52: 1960, *Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre)*

CEI 60, *Techniques des essais à haute tension*

CEI 475: 1974, *Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides*

3 Appareillage électrique

L'appareillage électrique se compose des éléments suivants:

a) Régulateur de tension
b) Transformateur élévateur
c) Disjoncteur
d) Système de limitation d'énergie

Deux ou plusieurs de ces éléments peuvent être intégrés dans un système d'équipement.

3.1 *Régulateur de tension*

La montée en tension uniforme en fonction du temps étant difficile à réaliser par des moyens manuels, un réglage automatique est indispensable.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INSULATING LIQUIDS – DETERMINATION OF THE BREAKDOWN VOLTAGE AT POWER FREQUENCY – TEST METHOD

1 Scope

This International Standard specifies the method for determining the dielectric breakdown voltage of insulating liquids at power frequency. The test portion, contained in a specified apparatus, is subjected to an increasing a.c. electrical field by means of a constant rate of voltage rise until breakdown occurs.

The method applies to all types of insulating liquids of nominal viscosity up to 350 mm^2s^{-1} at 40 °C. It is appropriate both for acceptance testing on unused liquids at the time of their delivery and for establishing the condition of samples taken in monitoring and maintenance of equipment.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 52: 1960, *Recommendations for voltage measurement by means of sphere-gaps (one sphere earthed)*

IEC 60, *High-voltage test techniques*

IEC 475: 1974, *Method of sampling liquid dielectrics*

3 Electrical apparatus

The electrical apparatus consists of the following units:

a) Voltage regulator

b) Step-up transformer

c) Switching system

d) Energy limiting devices

Two or more of these units may be integrated in any equipment system.

3.1 *Voltage regulator*

Uniform increase of voltage with time by manual means is difficult and, for this reason, automatic control is essential.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Ce réglage de tension peut être réalisé par l'une des méthodes suivantes:

a) Autotransformateur à rapport variable

b) Régulateur électronique

c) Régulateur à variation de champ

d) Régulateur à induction

e) Diviseur de tension résistif

3.2 *Transformateur élévateur*

La tension d'essai est obtenue au moyen d'un transformateur élévateur alimenté à partir d'une source de tension alternative (48 Hz à 62 Hz) dont la valeur est augmentée progressivement. Les commandes de la source basse tension variable doivent être capables de faire varier la tension d'essai sans à-coups, d'une manière uniforme, sans oscillations ni transitoires de tension. L'incrémentation (obtenue, par exemple, à l'aide d'un auto-transformateur variable) ne doit pas dépasser 2 % de la tension de claquage attendue.

La tension appliquée aux électrodes de la cellule remplie du liquide doit avoir une forme d'onde approximativement sinusoïdale, telle que le facteur de crête se situe dans les limites suivantes: $1{,}41 \pm 0{,}07$.

Il convient que le point milieu de l'enroulement secondaire du transformateur soit relié à la terre.

3.3 *Résistances de limitation de courant*

Afin de protéger le matériel et pour éviter une décomposition excessive du liquide au moment du claquage, il est possible d'insérer, en série avec la cellule d'essai, une résistance de limitation du courant de court-circuit.

Le courant de court-circuit du transformateur et de ses circuits associés doit être compris entre 10 mA et 25 mA pour toutes les tensions supérieures à 15 kV. Ce résultat peut être obtenu par une combinaison de résistances placées dans l'un ou l'autre des circuits primaire ou secondaire du transformateur haute tension ou dans les deux circuits.

3.4 *Disjoncteur*

3.4.1 *Exigences minimales requises*

Le circuit du transformateur élévateur doit être automatiquement ouvert quand un arc franc se produit. Le circuit primaire du transformateur élévateur doit être pourvu d'un disjoncteur fonctionnant sous l'action du courant qui résulte du claquage de l'échantillon et il doit couper la tension en moins de 10 ms. Le circuit peut être ouvert manuellement si un arc transitoire (audible ou visible) se produit entre les électrodes.

NOTE – La sensibilité de l'élément détecteur de courant dépend du dispositif de limitation d'énergie utilisé et seule une information approximative peut être fournie. Normalement le déclenchement provoqué par un courant de 4 mA maintenu pendant 5 ms est acceptable, tandis que pour les dispositifs de limitation d'énergie rapide (voir 3.4.2) le déclenchement provoqué par un courant transitoire de 1 A maintenu pendant 1 µs s'est révélé satisfaisant.

3.4.2 *Exigences particulières requises pour les liquides silicones*

Les liquides silicones peuvent donner des produits solides de décomposition sous l'effet des décharges électriques, susceptibles d'entrainer de grossières erreurs dans les résultats observés. Dans de tels cas, toutes les dispositions possibles doivent être prises pour limiter l'énergie dissipée dans le claquage.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Voltage control may be achieved by one of the following methods:

a) Variable ratio auto-transformer

b) Electronic regulator

c) Generator-field regulation

d) Induction regulator

e) Resistive type voltage divider

3.2 *Step-up transformer*

The test voltage is obtained by using a step-up transformer supplied from an a.c. (48 Hz to 62 Hz) voltage source whose value is gradually increased. The controls of the variable low-voltage source shall be capable of varying the test voltage smoothly, uniformly and without overshoots or transients. Incremental increases (produced, for example, by a variable auto-transformer) shall not exceed 2 % of the expected breakdown voltage.

The voltage applied to the electrodes of the liquid-filled cell shall have an approximately sinusoidal waveform, such that the peak factor is within the following limits: 1,41 ± 0,07.

The centre-point of the secondary winding of the transformer should be connected to earth.

3.3 *Current-limiting resistors*

To protect the equipment and to avoid excessive decomposition of the liquid at the instant of breakdown, a resistance limiting the breakdown current may be inserted in series with the test cell.

The short-circuit current of the transformer and associated circuits shall be within the range of 10 mA to 25 mA for all voltages higher than 15 kV. This may be achieved by a combination of resistors in either or both the primary and secondary circuits of the high- voltage transformer.

3.4 *Switching system*

3.4.1 *Basic requirements*

The circuit shall be opened automatically if an established arc occurs. The primary circuit of the step-up transformer shall be fitted with a circuit-breaker operated by the current resulting from the breakdown of the sample, and shall break the voltage within 10 ms. The circuit may be opened manually if a transient spark (audible or visible) occurs between the electrodes.

NOTE – The sensitivity of the current-sensing element depends on the energy-limiting device employed and only approximate guidance can be given. Normally, triggering of cut-off by a current of 4 mA maintained for 5 ms is acceptable, while fast energy-limiting (see 3.4.2) triggering by a transient current of 1 A maintained for 1 µs has been found satisfactory.

3.4.2 *Special requirements for silicone liquids*

Silicone liquids can give rise to solid decomposition products through the action of electric discharges, which may cause gross errors in the observed results. In such cases, all feasible steps shall be taken to minimize the energy available for dissipation in the breakdown discharge.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Alors que la limitation de courant, décrite ci-dessus, associée à l'ouverture du primaire du transformateur élévateur en moins de 10 ms est satisfaisante pour les hydrocarbures, pour les liquides silicones on obtient un meilleur résultat en court-circuitant le circuit primaire du transformateur par une faible impédance ou en employant un dispositif de détection de claquage basse tension agissant en moins de quelques microsecondes. Ce dispositif peut être de type analogique (par exemple un modulateur) ou de type à commutation (par exemple à thyristors). La tension secondaire du transformateur élévateur doit être, par l'emploi de tels types de dispositifs, annulée en moins de 1 ms après détection du claquage et ne doit pas pouvoir être ré-enclenchée, tant que l'étape suivante de la séquence d'essais n'est pas reprise.

3.5 *Dispositif de mesurage*

Dans le cadre de la présente norme, la valeur de la tension d'essai est définie par sa valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$.

Cette valeur peut être mesurée au moyen d'un voltmètre de crête, ou de tout autre type de voltmètre relié au primaire ou secondaire du transformateur d'essai, ou à tout autre enroulement spécial prévu sur le transformateur; il faut que l'instrument utilisé soit étalonné jusqu'à la tension maximale que l'on souhaite mesurer.

L'utilisation d'un étalon de transfert s'est révélée satisfaisante comme méthode d'étalonnage. Il s'agit d'un dispositif auxiliaire de mesurage placé entre les sorties haute tension, à la place de la cellule d'essai et présentant une impédance identique à celle de la cellule d'essai remplie. Ce dispositif auxiliaire est étalonné séparément à partir d'un étalon primaire, par exemple un éclateur à sphères conforme à la CEI 52 (voir aussi la CEI 60).

4 Dispositif d'essai

4.1 *Cellule d'essai*

Le volume de la cellule doit être compris entre 350 ml et 600 ml.

La cellule doit être réalisée dans un matériau isolant électrique, transparent, chimiquement inerte et résistant à l'isolant liquide ainsi qu'aux produits de nettoyage qui peuvent être utilisés.

La cellule doit être équipée d'un couvercle et construite de manière à permettre facilement le démontage des électrodes, afin de les nettoyer et de les maintenir en état.

Les figures 1 et 2 présentent des exemples de cellules appropriées.

4.2 *Electrodes*

Les électrodes doivent être soit en laiton, en bronze ou en acier inoxydable austénitique. Elles doivent être polies et de forme sphérique (diamètre 12,5 mm à 13,0 mm) comme le montre la figure 1, ou hémisphérique aux dimensions données dans la figure 2. L'axe du système d'électrodes doit être horizontal et placé dans la cellule à 40 mm au moins en dessous de la surface du liquide en essai. Aucune partie de l'électrode ne doit être située à moins de 12 mm des parois de la cellule ou de l'agitateur. L'écartement entre les électrodes doit être de 2,50 mm ± 0,05 mm.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Whilst current limiting as above, combined with isolation of the step-up transformer primary within 10 ms, is adequate for hydrocarbons. More satisfactory performance for silicone liquids is obtained by short circuiting of the primary circuit of the transformer by a low-impedance or by use of a low-voltage device for detection of breakdown acting within a few microseconds. This device may be of either analogue (for example, modulating amplifier) or switching (for example, thyristor) type. By the use of this device, the output voltage of the step-up transformer shall be reduced to zero within 1 ms of detection of breakdown, and shall not thereafter increase again until the next step of the test sequence is commenced.

3.5 *Measuring device*

For the purpose of this standard, the magnitude of the test voltage is defined as its peak value divided by $\sqrt{2}$.

This voltage may be measured by means of a peak-voltmeter or by means of another type of voltmeter connected to the input or output side of the testing transformer, or to a special winding provided thereon; the instrument then used shall be calibrated against a standard up to the full voltage which it is desired to measure.

A method of calibration which has been found satisfactory is the use of a transfer standard. This is an auxiliary measuring device which is connected in place of the test cell between the high-voltage terminals to which it presents the same impedance as the filled test cell. The auxiliary device is separately calibrated against a primary standard, for example, a sphere gap in accordance with IEC 52 (see also IEC 60).

4 Test assembly

4.1 *Test cell*

The volume of the cell shall be between 350 ml and 600 ml.

The cell shall be made of material that is electrically insulating, transparent and chemically inert, resistant to the insulating liquid and the cleaning agents which may be used.

The cell shall be provided with a cover and shall be designed to permit easy removal of the electrodes for cleaning and maintenance.

Examples of suitable cell designs are given in figures 1 and 2.

4.2 *Electrodes*

The electrodes shall be made either of brass, bronze or austenitic stainless steel. They shall be polished and, in shape, either spherical (12,5 mm to 13,0 mm diameter) as shown in figure 1 or partially spherical of the shape and dimensions given in figure 2. The axis of the electrode system shall be horizontal, and at least 40 mm below the surface of the test liquid in the cell. No part of the electrode shall be closer than 12 mm to the cell wall or stirrer. The gap between the electrodes shall be 2,50 mm ± 0,05 mm.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Les électrodes doivent être examinées fréquemment pour vérifier qu'elles ne sont pas piquées ou qu'elles n'ont pas subi d'autres détériorations; elles doivent être maintenues en bon état ou remplacées dès que l'on observe de telles détériorations.

4.3 *Agitation* (facultative)

L'essai peut être effectué avec ou sans agitation du liquide. Des différences de résultats entre essais effectués avec ou sans agitation ne se sont pas révélées statistiquement significatives. Cependant, un agitateur peut être commode, particulièrement avec des appareils fonctionnant automatiquement.

L'agitation peut être réalisée à l'aide d'une hélice à deux pales, de diamètre efficace de 20 mm à 25 mm et de hauteur d'axe de 5 mm à 10 mm, tournant à la vitesse de 250 t.p.m. à 300 t.p.m. L'agitateur ne doit pas créer de bulles d'air et tourner de préférence dans un sens tel que l'écoulement du liquide soit dirigé de haut en bas. Il doit être réalisé de telle sorte qu'il puisse être nettoyé facilement.

L'agitation au moyen d'un agitateur à aimant (de longueur 20 mm à 25 mm et de 5 mm à 10 mm de diamètre) est une solution acceptable pourvu qu'il n'y ait pas de risque d'éliminer des particules magnétiques.

Les dimensions du système d'agitation doivent répondre aux exigences de 4.2 pour l'écartement.

5 Préparation des électrodes

Les électrodes neuves, les électrodes piquées ou les électrodes qui pendant une longue période n'auraient pas été stockées convenablement doivent être nettoyées de la manière suivante:

– nettoyer toutes les surfaces avec un solvant volatil convenable qu'on laissera évaporer suffisamment;

– polir avec de la poudre abrasive fine (par exemple du rouge à polir), ou avec de la toile ou du papier abrasif (par exemple toile à polir ultra-fine);

– nettoyer, après polissage, à l'éther de pétrole (qualité pure pour analyse, plage d'ébullition 60 °C - 80 °C) puis à l'acétone (qualité pure pour analyse),

– monter les électrodes dans la cellule que l'on remplira de liquide isolant neuf et propre, de même type que celui qui sera ultérieurement essayé, et augmenter la tension jusqu'au claquage, 24 fois.

6 Préparation du dispositif d'essai

Il est recommandé de réserver une cellule d'essai distincte pour chaque type d'isolant liquide.

Ces cellules d'essai doivent être stockées dans un endroit sec avec leur couvercle et remplies de liquide isolant séché, correspondant au type pour lesquelles elles sont normalement destinées.

Dans le cas où l'on ne peut faire autrement que changer le liquide en essai, éliminer toutes les traces du liquide précédent avec un solvant approprié, rincer la cellule équipée avec le liquide à essayer, propre et sec, laisser égoutter et remplir à nouveau.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

The electrodes shall be examined frequently for pitting or other damage, and shall be maintained or replaced as soon as such damage is observed.

4.3 *Stirring* (optional)

The test may be conducted with or without stirring. Differences between tests with or without stirring have not been found statistically significant. A stirrer, however, may be convenient especially with apparatus capable of automatic operation.

Stirring may be achieved by means of a two-bladed impeller of effective diameter 20 mm to 25 mm, axial depth 5 mm to 10 mm, rotating at a speed of 250 r.p.m to 300 r.p.m. The impeller shall not entrain air bubbles and preferably rotate in such a direction that the resulting liquid flow is directed downward. It shall be constructed so that it is easily cleaned.

Stirring by means of a magnetic bar (20 mm to 25 mm in length and 5 mm to 10 mm in diameter) is an acceptable alternative when there is no risk of removing magnetic particles.

The dimensions of the stirring device shall conform to the clearance requirements in 4.2.

5 Preparation of electrodes

New electrodes, pitted electrodes, electrodes which have not been properly stored for a considerable time shall be cleaned by the following procedure:

- clean all surfaces with a suitable volatile solvent and allow the solvent to evaporate;
- polish with fine abrasive powder (for example, jeweller's rouge) or abrasive paper or cloth (for example, crocus cloth);
- after polishing, clean with petroleum spirit (reagent quality: boiling range 60 °C - 80 °C) followed by acetone (reagent quality);
- assemble the electrodes in the cell, fill with a clean, unused insulating liquid of the type to be tested next, and raise the electrode voltage to breakdown 24 times.

6 Test assembly preparation

It is recommended that a separate test cell assembly be reserved for each insulating liquid type.

Test assemblies shall be stored in a dry place, covered and filled with dry insulating liquid of the type in regular use in the cell.

On change of the type of liquid under test, remove all residues of the previous liquid with an appropriate solvent, rinse the assembly with clean, dry liquid of the same type as that to be tested, drain and refill.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

7 Echantillonnage

7.1 *Récipient d'échantillonnage*

Il convient que le volume de l'échantillon soit approximativement trois fois plus important que celui de la cellule d'essai.

Les récipients d'échantillonnage appropriés doivent être conformes à la CEI 475. Le récipient à employer de préférence est une bouteille en verre brun. Des bouteilles en verre transparent peuvent être utilisées mais elles doivent être conservées à l'abri de la lumière jusqu'au moment de l'essai. Il est possible d'employer des récipients en plastique inattaquables par le liquide à essayer, à condition de ne pas les réutiliser. Pour la fermeture des bouteilles, utiliser de préférence des bouchons à vis équipés de joints d'étanchéité en polyoléfine ou en polytétrafluoréthylène.

Les récipients et bouchons doivent être lavés avec un solvant approprié pour éliminer toutes les traces d'échantillons antérieurs. Ils doivent ensuite être rincés avec de l'acétone dont les traces seront éliminées par un jet d'air chaud.

Après nettoyage, les récipients seront immédiatement bouchés et conservés fermés jusqu'à l'utilisation.

7.2 *Technique d'échantillonnage*

L'échantillonnage des isolants liquides usagés ou neufs doit être effectué conformément aux modes opératoires décrits dans la CEI 475.

Lors de l'échantillonnage, il convient de remplir les récipients à peu près complètement, en laissant un espace libre d'environ 3 % du volume du récipient.

La tension de claquage est très sensible à la moindre contamination de l'échantillon par l'eau et les particules. Une attention particulière est donc faite ici sur les précautions nécessaires pour éviter toute contamination, et sur la nécessité de disposer d'un personnel entraîné sous surveillance expérimentée.

Sauf avis contraire, l'échantillon est prélevé à l'endroit où le liquide est vraisemblablement le plus contaminé, en principe au point le plus bas du récipient qui le contient.

8 Etat de l'échantillon

Sauf indication contraire, effectuer l'essai sur l'échantillon tel qu'il est reçu, sans le sécher ni le dégazer.

Au moment de l'essai, la température du liquide en essai et la température ambiante ne doivent pas différer de plus de 5 °C et pour les essais d'arbitrage la température du liquide doit être de 20 °C ± 5 °C.

9 Mode opératoire

9.1 *Préparation de l'échantillon*

Juste avant le remplissage de la cellule d'essai, agiter doucement le récipient contenant l'échantillon en le renversant plusieurs fois afin d'homogénéiser, autant que possible, les impuretés du liquide, sans créer de bulles d'air.

Eviter d'exposer inutilement l'échantillon à l'air ambiant.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

7 Sampling

7.1 *Sample containers*

Sample size should be approximately three times the capacity of the test cell.

Appropriate sample containers shall comply with IEC 475. An amber glass bottle is the preferred container. Clear glass bottles may be used but they shall be shielded from direct light until ready to be tested. Plastic containers which are not attacked by the liquid to be tested may be used, but these shall not be used more than once. For sealing, screw caps with polyolefine or polytetrafluoroethylene insert are preferred.

Containers and caps shall be cleaned by washing with a suitable solvent to remove residues of an earlier sample. Containers shall next be rinsed with acetone, traces of which shall be removed by blowing with warm air.

After cleaning, containers shall be immediately capped and kept sealed until used.

7.2 *Sampling technique*

Sampling of new and used insulating liquids shall be carried out in full compliance with procedures detailed in IEC 475.

When sampling, containers should be almost filled with sample, leaving about 3 % of the container volume as free air space.

Breakdown voltage is extremely sensitive to the slightest contamination of the sample by water and particulate matters. Special reference is made to precautions necessary to avoid contamination of the sample and the need for trained personnel and experienced supervision.

Unless otherwise required, the sample is taken where the liquid is likely to be most contaminated, usually at the lowest point of the container holding it.

8 Condition of the sample

The test is carried out, unless otherwise specified, on the sample as received without drying or degassing.

At the time of test, the temperatures of the test liquid and ambient air shall not differ by more than 5 °C and for referee tests the liquid temperature shall be 20 °C ± 5 °C.

9 Test procedure

9.1 *Sample preparation*

Immediately before filling the test cell, the sample container is gently agitated and turned over several times in such a way as to ensure as far as possible a homogeneous distribution of the impurities contained in the liquid without causing the formation of air bubbles.

Unnecessary exposure to the ambient air of the sample shall be avoided.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

9.2 *Remplissage de la cellule*

Immédiatement avant de commencer l'essai, vider la cellule d'essai et rincer les parois, les électrodes et autres parties internes de la cellule avec l'échantillon à essayer. Vider la cellule et la remplir lentement avec l'échantillon en évitant de former des bulles d'air.

Mesurer et noter la température du liquide.

Placer la cellule dans le dispositif d'essai et mettre en route l'agitateur, s'il y en a un.

9.3 *Application de la tension*

La première application de la tension est effectuée environ 5 min après avoir achevé le remplissage en vérifiant qu'il n' y a pas de bulles d'air visibles entre les électrodes.

Augmenter régulièrement la tension appliquée aux électrodes, de zéro jusqu'au claquage, à la vitesse de 2,0 kV s^{-1} ± 0,2 kV s^{-1}. La tension de claquage est la tension maximale atteinte à l'ouverture du circuit, soit automatiquement (arc franc) ou manuellement (décharge audible ou visible détectée).

Noter la valeur.

Réaliser six claquages sur le même remplissage en respectant une pause d'au moins 2 min après chaque claquage et avant remise sous tension. Vérifier qu'il n'y a pas de bulles de gaz entre les électrodes. S'il y a un agitateur, le laisser fonctionner pendant tout l'essai.

Calculer, en kilovolts, la valeur moyenne des six tensions de claquage.

10 Rapport

Noter le résultat de l'essai comme étant la valeur moyenne, en kilovolts, des six tensions de claquage.

Le rapport doit également stipuler l'identification de l'échantillon, les valeurs individuelles des tensions de claquage, le type d'électrodes employées, la fréquence de la tension d'essai, la température du liquide et l'usage d'un agitateur, si c'est le cas.

11 Dispersion des résultats

Il a été démontré que la dispersion des valeurs individuelles des tensions de claquage dépendait de la valeur du résultat de l'essai. La représentation graphique de la figure 3 indique les valeurs du coefficient de variation (rapport de l'écart type à la valeur moyenne) trouvées pour un grand nombre de résultats d'essais obtenus par plusieurs laboratoires sur de l'huile de transformateur.

Dans le graphique, la courbe en trait plein représente la distribution de la valeur médiane du coefficient de variation en fonction de la moyenne. Les courbes en pointillé représentent l'intervalle de confiance à 95 % des valeurs du coefficient de variation en fonction de la moyenne.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

9.2 *Filling of the cell*

Immediately before commencing the test, drain the test cell and rinse the walls, electrodes and other component parts, with the test sample. Drain and slowly fill with the test sample avoiding the formation of air bubbles.

Measure and record the temperature of the liquid.

Position the cell in the test equipment and start the stirrer if used.

9.3 *Application of voltage*

The first application of voltage is started approximately 5 min after completion of filling and checking that no air bubbles are visible in the electrode gap.

Apply voltage to the electrodes and uniformly increase voltage from zero at the rate of 2,0 kV s^{-1} ± 0,2 kV s^{-1} until breakdown occurs. The breakdown voltage is the maximum voltage reached at the time the circuit is opened either automatically (established arc) or manually (visible or audible discharge detected).

Record the value.

Carry out six breakdowns on the same cell filling allowing a pause of at least 2 min after each breakdown before re-application of voltage. Check that no gas bubbles are present within the electrode gap. If a stirrer is used, it shall run continuously throughout the test.

Calculate the mean value of the six breakdowns in kilovolts.

10 Report

Report the mean value, in kilovolts, of the six breakdowns as the test result.

The report shall also include: the sample identification, the value of each individual breakdown, the type of electrodes used, the frequency of the test voltage, the temperature of the liquid, the use of a stirrer (if any).

11 Test data dispersion

The scatter of individual breakdown voltages has been found to be very dependent on the value of the result. The graphical representation of figure 3 indicates the values of standard deviation/mean ratio which have been found in a large body of test data in several laboratories using transformer oil.

The full line in the graph shows the distribution of the median value of SD/mean as a function of the value of the mean. The dotted lines indicate the expected 95 % range of values of SD/mean as a function of the value of the mean.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

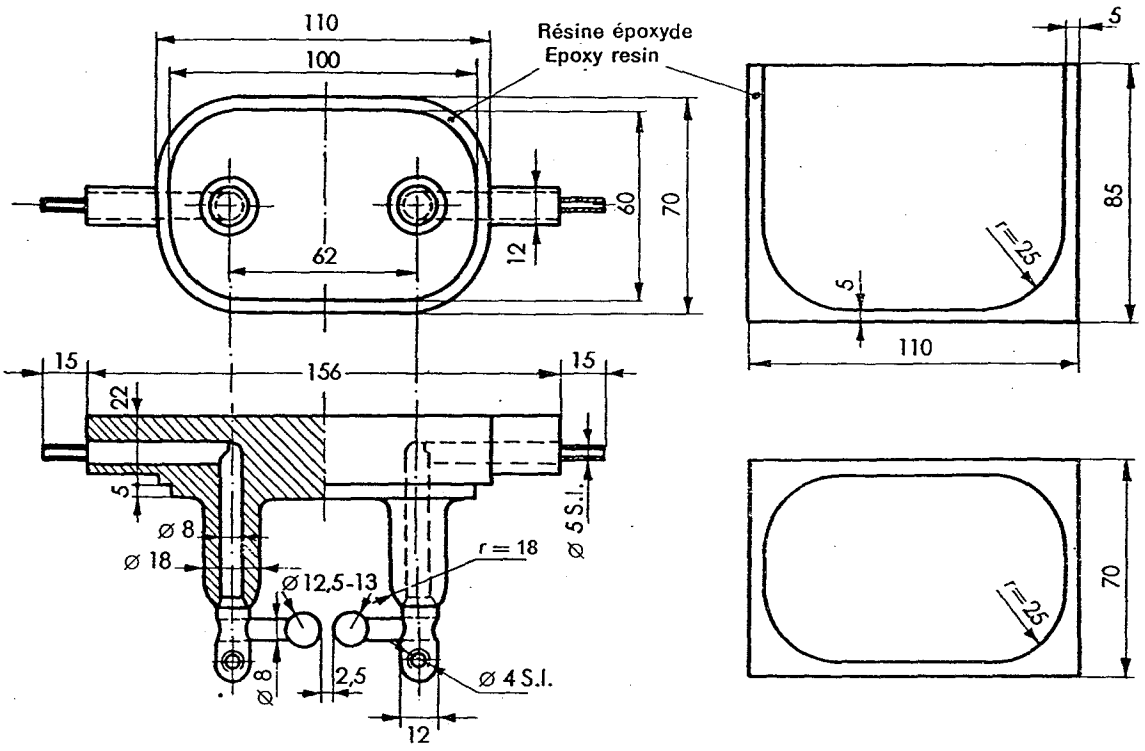

Figure 1 – Exemple d'une cellule et d'électrodes sphériques appropriées
Example of suitable cell and spherical electrodes

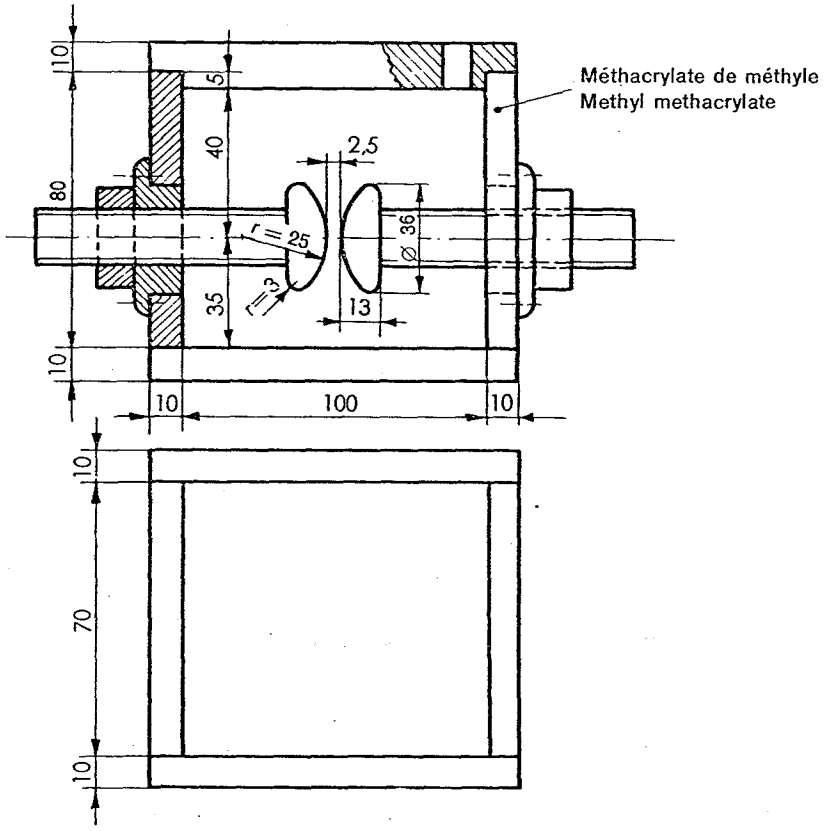

Figure 2 – Exemple d'une cellule et d'électrodes hémisphériques appropriées
Example of suitable cell and partially spherical electrodes

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

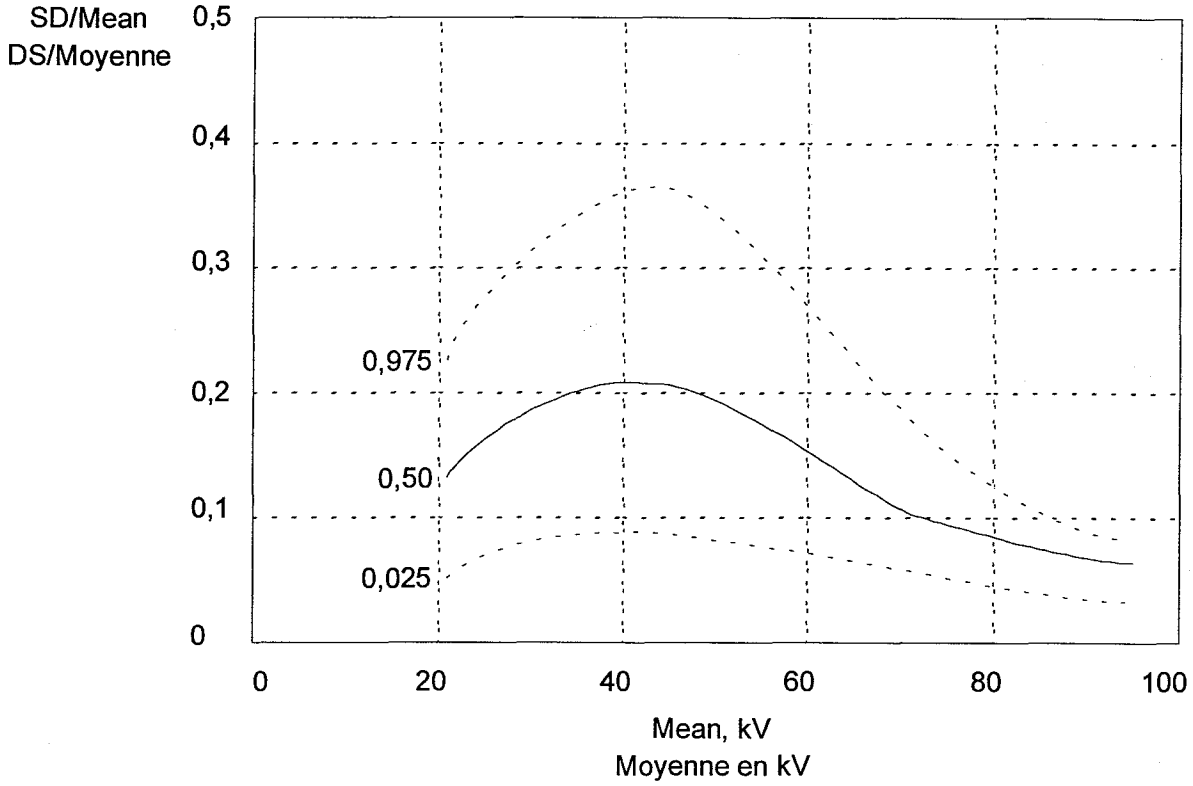

Figure 3 – Représentation graphique du coefficient de variation (rapport de l'écart type à la valeur moyenne) en fonction de la moyenne de tension de claquage
Graphical representation of coefficient of variation (standard deviation/ mean ratio) versus mean breakdown voltage

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 17.220.99 29.035.40

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND