

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1072**

Première édition
First edition
1991-12

**Méthodes d'essais pour évaluer
la résistance des matériaux isolants
à la formation d'arborescences électriques**

**Methods of test for evaluating
the resistance of insulating materials
against the initiation of electrical trees**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1072: 1991

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- Bulletin de la CEI
- Annuaire de la CEI
- Catalogue des publications de la CEI
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la deuxième feuille de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- IEC Bulletin
- IEC Yearbook
- Catalogue of IEC Publications
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, 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 back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1072**

Première édition
First edition
1991-12

**Méthodes d'essais pour évaluer
la résistance des matériaux isolants
à la formation d'arborescences électriques**

**Methods of test for evaluating
the resistance of insulating materials
against the initiation of electrical trees**

© CEI 1991 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 pro-
cédé, 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 Varemé Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
SECTION 1: GÉNÉRALITÉS	
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Références normatives	10
1.3 Définitions	10
SECTION 2: MÉTHODE A - ESSAI À UNE AIGUILLE: GÉOMÉTRIE POINTE-PLAN	
2.1 Résumé de la méthode	12
2.2 Appareillage	12
2.3 Mode opératoire	16
2.4 Analyse des résultats d'essai	18
2.5 Rapport	20
2.6 Précision et justesse	20
SECTION 3: MÉTHODE B - ESSAI À DEUX AIGUILLES: GÉOMÉTRIE POINTE-POINTE	
3.1 Résumé de la méthode	22
3.2 Signification et usage	22
3.3 Terminologie	22
3.4 Appareillage	22
3.5 Échantillonnage	24
3.6 Epruvettes d'essai	24
3.7 Conditionnement	28
3.8 Mode opératoire	30
3.9 Présentation des résultats	30
3.10 Rapport	32
3.11 Précision et justesse	32
Figures	34
ANNEXE A - Préparation des électrodes-aiguilles	38
ANNEXE B - Résultats et discussion des essais circulaires d'arborisation	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
SECTION 1: GENERAL	
1.1 Scope and object	11
1.2 Normative references	11
1.3 Definitions	11
SECTION 2: METHOD A - THE SINGLE-NEEDLE TEST: NEEDLE TO PLANE GEOMETRY	
2.1 Summary of method	13
2.2 Apparatus	13
2.3 Test procedure	17
2.4 Analysis of test results	19
2.5 Report	21
2.6 Precision and bias	21
SECTION 3: METHOD B - THE DOUBLE-NEEDLE TEST: NEEDLE TO NEEDLE GEOMETRY	
3.1 Summary of method	23
3.2 Significance and use	23
3.3 Terminology	23
3.4 Apparatus	23
3.5 Sampling	25
3.6 Test specimens	25
3.7 Conditioning	29
3.8 Procedure	31
3.9 Presentation of results	31
3.10 Report	33
3.11 Precision and bias	33
Figures	34
ANNEX A - Preparation of needle electrodes	39
ANNEX B - Results and discussion of round robin treeing tests	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAIS POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX ISOLANTS À LA FORMATION D'ARBORESCENCES ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

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

Le présent Rapport technique a été établi par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes n° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
15B(BC)68	15B(BC)75

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine de l'endurance électrique en raison de l'urgence d'avoir une indication quant à la manière dont il convient d'utiliser les normes dans ce domaine pour répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

Les annexes A et B font partie intégrante de ce Rapport technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS OF TEST FOR EVALUATING THE RESISTANCE
OF INSULATING MATERIALS AGAINST THE INITIATION
OF ELECTRICAL TREES**

FOREWORD

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

This Technical Report has been prepared by Sub-Committee 15B: Endurance tests, of IEC Technical Committee No. 15: Insulating materials.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
15B(CO)88	15B(CO)75

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

This document is being issued in the technical report (type 2) series of publications as a "prospective standard for provisional application" in the field of electrical endurance because there is an urgent need for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this technical report (type 2) will be carried out not later than three years after its publication with the options of: extension for another three years; conversion into an International Standard; or withdrawal.

Annexes A and B form an integral part of this Technical Report.

INTRODUCTION

a) *Remarques générales*

Un groupe de travail préparatoire a été créé pour l'étude de l'endurance électrique. Une des tâches assignées était de préparer des méthodes d'évaluation de l'endurance à l'arborisation électrique des matériaux isolants et de leurs combinaisons simples.

Deux méthodes d'essai d'arborisation sont généralement utilisées pour comparer la résistance des matériaux isolants solides à la formation d'arborescences électriques en environnement sec et sous contrainte de courte durée. Elles sont décrites dans ce rapport. Ces méthodes diffèrent essentiellement dans la disposition des électrodes et les séquences d'application de la tension:

- la méthode A, essai à une aiguille, décrite dans la section 2 de ce rapport, utilise un système pointe-plan et une tension croissant par paliers de 1 min jusqu'à la formation d'arborescences;
- la méthode B, essai à deux aiguilles, décrite dans la section 3, utilise deux électrodes cylindriques dont les extrémités opposées sont, l'une taillée en pointe, l'autre en hémisphère. Des éprouvettes neuves sont soumises à une tension pendant 1 h à différents niveaux de contrainte.

Dans une première étape de l'essai de résistance à l'arborisation électrique, les dispositions des électrodes décrites dans les sections 2 et 3 ont été évaluées sous contraintes de courte durée (1 min) dans un essai circulaire. Les résultats de ces essais sont présentés et discutés brièvement dans l'annexe B.

En résumé, on peut conclure que les essais d'arborisation pour déterminer la résistance à la formation d'arborescences électriques sous contraintes de courte durée, effectués dans des conditions bien définies et utilisant des aiguilles disponibles dans le commerce, donnent des résultats statistiquement valables et reproductibles. Comme aucune méthode ne présente d'avantage déterminant par rapport à l'autre, les deux méthodes peuvent être recommandées sans préférence.

Il convient de remarquer que l'endurance à l'arborisation n'est pas nécessairement corrélée à la tension d'apparition d'arborescences à court terme. En conséquence, des essais d'arborisation utilisant les dispositions d'électrodes indiquées précédemment ont été effectués pour rechercher si, et dans quelle mesure, une tension élevée d'apparition des arborescences est corrélée à un temps long d'apparition sous des tensions constantes plus faibles. Les résultats ont montré qu'au stade actuel des connaissances, l'extension des méthodes décrites dans les sections 2 et 3 à des essais à long terme de résistance à l'arborisation de matériaux isolants est beaucoup trop dépendante des conditions opératoires pour satisfaire aux exigences des normes CEI. Il a été décidé que, pour le moment, il n'y a pas lieu de continuer les travaux en vue de préparer une méthode d'essai CEI de la résistance à l'arborisation à long terme des matériaux isolants. Il est nécessaire de continuer les recherches dans ce domaine. Il a été souligné que de tels travaux pourraient certainement continuer ailleurs, étant donné que l'on reconnaît l'importance pour les matériaux isolants de résister à long terme à l'arborisation et que des méthodes permettant d'évaluer cette résistance en laboratoire seraient particulièrement utiles.

INTRODUCTION

a) *General remarks*

A preparatory working group has been set up on electrical endurance. One of the given tasks was to prepare methods for assessing the electrical treeing endurance of insulating materials and simple combinations thereof.

Two treeing tests are generally used to compare the resistance of solid insulating materials against the initiation of electrical trees under dry conditions and using short-time stressing. They are described in this report. The methods differ mainly in the electrode arrangement and in the time intervals during which voltage is applied:

- method A, the single-needle test, described in section 2 of this report, employs a point-to-plane geometry and consecutive voltage steps of 1 min duration until tree initiation has occurred;
- method B, the double-needle test, described in section 3, employs two opposing cylindrical electrodes, one sharpened to a point, the other with a hemispherical end. The voltage is applied to virgin specimens for a period of 1 h at different stress levels.

As a first step towards testing of resistance against electrical treeing, the electrode arrangements described in sections 2 and 3 have been evaluated in a round robin test under conditions of short-time (1 min) stressing. The test results and a short discussion of the same are given in annex B.

In summary, it can be concluded that treeing tests to determine the resistance to initiation of electrical trees under short-time stressing and performed under well-defined conditions using commercial needle electrodes give statistically valid and reproducible results. Since there is no obvious advantage to either one of the two tests, both methods can be recommended without preference.

It should be pointed out that endurance against treeing does not necessarily correlate with the short-time tree inception voltage. Therefore treeing tests using the above-mentioned electrode arrangements have been performed to find out whether, or how closely, an elevated tree inception voltage corresponds to a prolonged tree inception time at constant lower stresses. The results are such that at the present stage of knowledge, the extension of the methods described in sections 2 and 3 to testing the long-term endurance of insulating materials against treeing is far too operator-dependent to meet IEC needs. It was decided that, at present, there is no justification for continuing the attempt to prepare an IEC test method for the long-term treeing endurance of insulating materials. Further research in this field is required. It was emphasized that such work should certainly be continued elsewhere, as the importance of the long-term treeing endurance of insulating materials is recognized, and methods to assess it under laboratory conditions would certainly be useful.

b) Méthodes d'essai pour évaluer la résistance à la formation des arborescences

Lorsque les diélectriques solides organiques sont soumis à des gradients électriques suffisamment élevés et non uniformes, une défaillance se produit généralement par un mécanisme dit d'arborisation.

Dans des matériaux de structure moléculaire différente, ce processus d'arborisation électrique débute à différents niveaux de contrainte, indiquant des degrés variés de résistance à la formation des arborescences.

Les arborescences qui se développent par un mécanisme de dégradation résultant de gradients électriques élevés et non uniformes ou de décharges partielles sont appelées arborescences électriques pour les distinguer des arborescences aqueuses et des arborescences électrochimiques qui sont tout à fait différentes.

L'arborisation électrique, quand elle se produit dans l'isolation haute-tension, débute souvent aux bords des électrodes, à des aspérités et à des particules conductrices qui sont des régions de contrainte électrique localisée intense. Les essais d'arborisation utilisent des électrodes aiguilles pour simuler de telles intensifications du champ.

La reproductibilité des propriétés caractéristiques mesurées, dans le cas présent la tension caractéristique et la durée de vie sous champ divergent, dépend de nombreux facteurs. Certains d'entre eux, dont la liste suit, ont été identifiés:

- différences dans la géométrie de la pointe de l'aiguille;
- contraintes résiduelles ou orientations dans l'éprouvette produites par l'insertion de l'aiguille;
- inclusions ou vacuoles dans l'éprouvette;
- produits incorporés dans les éprouvettes qui peuvent exsuder ou s'étaler sur la surface produisant un film suffisamment conducteur pour modifier le champ électrique autour de la pointe de l'aiguille;
- différences dans l'histoire thermique ou le procédé de mise en œuvre, particulièrement dans les matériaux contenant des composants volatils qui peuvent affecter la susceptibilité à l'arborisation.

b) Test methods for evaluating resistance to tree inception

When solid organic dielectrics are subjected to sufficiently high and non-uniform electrical gradients, failure generally occurs through a mechanism called treeing.

In materials with different molecular structures, this electrical treeing process initiates at different levels of stress, indicating different degrees of resistance to tree initiation.

Trees that grow by a degradation mechanism resulting from high and non-uniform electrical gradients or from partial discharges are called electrical trees to distinguish them from electrochemical and water trees which are quite different.

Electrical treeing, when it occurs in high voltage insulation, often starts at corners of electrodes, asperities and conducting particles which are regions of intense localized electrical stress. Treeing tests use needle electrodes to simulate such field enhancements.

The reproducibility of measured characteristic properties, in this case the characteristic voltage and the divergent field life, depends on many factors. Some of these have been identified as follows:

- differences in the geometry of the needle point;
- residual strains or orientation in the specimen produced by needle insertion;
- inclusions or voids in the specimen;
- agents included in the specimens which may exude or spread out on the surface producing a film which is sufficiently conductive to alter the electric field around the needle point;
- differences in thermal history or processing, specifically for materials containing volatile components which can affect the susceptibility to treeing.

MÉTHODES D'ESSAIS POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX ISOLANTS À LA FORMATION D'ARBORESCENCES ÉLECTRIQUES

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

Le présent Rapport technique décrit deux méthodes d'essai pour estimer et comparer la résistance des matériaux diélectriques solides à la formation de figures arborescentes, c'est-à-dire de réseaux de canaux tubulaires dans lesquels des décharges partielles peuvent se produire, sous une contrainte électrique de courte durée, en champ fortement divergent.

L'essai est principalement utilisé aux fréquences industrielles (48 Hz à 62 Hz).

L'essai est généralement effectué à la température ambiante. Il convient, si d'autres températures sont envisagées, qu'elles ne s'écartent pas de la gamme de températures d'utilisation normale du matériau à essayer.

1.2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes Internationales en vigueur à un moment donné:

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension - Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*.

CEI 60-3: 1976, *Techniques des essais à haute tension - Troisième partie: Dispositifs de mesure*.

CEI 270: 1981, *Mesure des décharges partielles*.

1.3 Définitions

Pour les besoins du présent Rapport technique, les définitions suivantes s'appliquent:

arborescence électrique: Réseau de canaux tubulaires en forme d'arbre dans un matériau diélectrique solide, formé par un mécanisme de dégradation résultant de gradients de champ électrique élevé et non uniforme, ou de décharges partielles.

arborisation électrique: Formation d'arborescences électriques.

arborisé (adjectif): Présentant des figures arborescentes.

METHODS OF TEST FOR EVALUATING THE RESISTANCE OF INSULATING MATERIALS AGAINST THE INITIATION OF ELECTRICAL TREES

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope and object

This Technical Report describes two methods for evaluating and comparing the resistance of solid dielectric materials to the initiation of tree-like patterns, i.e. a network of tubular channels wherein partial discharges may occur, during short-time stressing, with a highly divergent electric field.

The tests are primarily used at power frequencies (48 Hz - 62 Hz).

The tests are generally carried out at room temperature. If other temperatures are desired, these should not exceed the range of normal use of the material to be tested.

1.2 Normative references

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

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques - General definitions and test requirements*.

IEC 60-3: 1976, *High-voltage test techniques - Part 3: Measuring devices*.

IEC 270: 1981, *Partial discharge measurements*.

1.3 Definitions

For the purpose of this Technical Report, the following definitions apply:

electrical tree: Tree-like network of tubular channels in a solid dielectric material formed by a degradation mechanism resulting from high and non-uniform electrical gradients or partial discharges.

electrical treeing: Formation of electrical trees.

treed (adjective): Presenting tree-like patterns.

SECTION 2: MÉTHODE A - ESSAI À UNE AIGUILLE: GÉOMÉTRIE POINTE-PLAN

2.1 Résumé de la méthode

La méthode applique une série d'échelons de tension croissante d'une durée de 1 min à un groupe d'au moins 10 éprouvettes. Un examen des arborescences est effectué à la fin de chaque échelon et seules les éprouvettes sans arborescences sont soumises à l'essai à tension supérieure. Le nombre de formations d'arborescences à chaque échelon de tension est compté. La distribution finale des nombres de formations d'arborescences à chaque échelon suit généralement une loi normale, et la tension moyenne est notée comme la tension caractéristique de l'essai à une aiguille. D'autres distributions peuvent aussi bien convenir.

Cette méthode utilise une géométrie pointe-plan comme configuration d'électrodes. L'aiguille est insérée par chauffage, coulée ou moulée dans les blocs de matériau à essayer et les blocs sont appliqués avec une légère pression sur l'électrode plane.

La tension caractéristique de l'essai à une aiguille est la moyenne de la distribution des tensions de début d'arborescence auxquelles des canaux de décharges partielles apparaissent quand on applique la tension par échelons successifs de 1 min.

2.2 Appareillage

2.2.1 Alimentation

L'alimentation doit fournir une tension sinusoïdale de fréquence industrielle de 50 Hz ou 60 Hz et être équipée d'une commande continue de tension et d'un dispositif de coupure fonctionnant à un niveau de courant réglable. Lorsque les éprouvettes sont connectées, le rapport de la tension de crête à la tension efficace d'essai doit être égal à $\sqrt{2} \pm 5\%$ pour toutes les tensions supérieures à 50 % de la tension d'apparition d'arborescences.

Il convient que l'on puisse faire croître la tension de zéro à un niveau défini à l'avance en 1 s à 2 s. Il convient également que la décroissance et la coupure de la haute tension puissent aussi se faire dans les mêmes conditions.

Un voltmètre de crête doit être utilisé et la valeur lue divisée par $\sqrt{2}$ pour obtenir la valeur efficace (voir la CEI 60-3).

2.2.2 Electrodes aiguilles

Les électrodes aiguilles doivent avoir un rayon de courbure à la pointe de 3 μm et un angle au sommet de 30°. Le diamètre préférentiel de l'aiguille est de 0,7 mm à 1,0 mm.

NOTE - Ces aiguilles peuvent être trouvées chez des fournisseurs comme: Ogur Jewel Industry Co. Ltd., 7-12 Omori Kita 5 Chome, Ota-Ku, Tokyo 143, Japan.

Avant utilisation, les électrodes aiguilles doivent être nettoyées selon les techniques habituelles de laboratoire en prenant soin de ne pas endommager la pointe de l'aiguille. Chaque aiguille doit être examinée avant nettoyage pour vérifier le rayon et la forme de la pointe.

SECTION 2: METHOD A - THE SINGLE-NEEDLE TEST: NEEDLE-TO-PLANE GEOMETRY

2.1 Summary of method

The method applies a series of 1 min steps of increasing stress to a group of at least 10 specimens. An examination for trees is performed at the end of each step and only untreed specimens are subjected to testing at higher voltage. The number of tree initiations at each voltage step is counted. The resulting distribution of the numbers of tree initiations at each step is generally fitted to a normal distribution, and the mean voltage is reported as the single-needle test characteristic voltage. Other distributions may be just as acceptable.

This method uses a needle-to-plane geometry as the electrode configuration. The needles are inserted by heat, moulded or cast into blocks of the material to be tested and the blocks pressed lightly against the plane electrode.

The single-needle characteristic voltage is the mean of the distribution of tree-inception-voltage-steps at which, when voltage is applied for successive 1 min intervals, partial discharge channels are formed.

2.2 Apparatus

2.2.1 Power supply

The power supply shall have a sinusoidal voltage output at power frequencies of 50 Hz or 60 Hz and be equipped with a continuous voltage control and a circuit breaking device operating at a controlled current level. With the test specimens in the circuit, the ratio of the crest to the root mean square (r.m.s.) test voltage shall be equal to $\sqrt{2} \pm 5\%$ at all voltages greater than 50 % of the tree initiation voltage.

It should be possible to raise the voltage from zero up to a predefined level within 1 s to 2 s. An analogous operation for lowering and then switching off the high voltage shall also be possible.

A peak reading voltmeter shall be used with the reading divided by $\sqrt{2}$ to obtain the r.m.s. value (see IEC 60-3).

2.2.2 Needle electrodes

The needle electrodes shall have a tip radius of 3 μm , and an included angle of 30°. The preferred overall needle diameter is 0,7 mm to 1,0 mm.

NOTE - Needles may be obtained from suppliers such as: Ogur Jewel Industry Co. Ltd., 7-12 Omori-Kita 6 Chome, Ohta-Ku, Tokyo 143, Japan.

Prior to use, the needle electrodes shall be cleaned according to usual laboratory practice but taking care not to damage the needle tip. Each needle shall be inspected for tip radius and shape before cleaning.

2.2.3 *Éprouvettes d'essai*

Les éprouvettes d'essai doivent avoir les dimensions indiquées en figure 1a. Si la susceptibilité à l'arborescence électrique doit être détectée par la méthode décrite en 2.3.1, il est recommandé d'utiliser l'éprouvette indiquée en figure 1b. La face inférieure, côté terre, de chaque éprouvette, peut être revêtue d'une couche conductrice convenable.

Pour les matériaux thermoplastiques, des plaques du matériau échantillon, d'une épaisseur de 6 mm, sont préparées dans une presse hydraulique chauffée, avec une feuille de démoulage appropriée. À partir de ces plaques, des blocs éprouvettes sont découpés et débarrassés de leurs bavures aux arêtes, si nécessaire. Des éprouvettes cylindriques, conformes à la figure 1b peuvent aisément être obtenues par fusion-compression ou par extrusion.

Pour l'insertion des électrodes aiguilles, les éprouvettes sont mises dans un dispositif comportant une rainure convenablement placée et portant les électrodes aiguilles. Il convient que, pendant l'introduction des blocs éprouvettes dans le dispositif, les pointes des aiguilles soient maintenues de sorte qu'elles ne touchent pas la surface des éprouvettes. Les dispositifs munis des aiguilles et les éprouvettes sont chauffés jusqu'à une température à laquelle un ramollissement suffisant du matériau échantillon permet l'insertion des aiguilles dans les éprouvettes sans dommage pour les pointes et sans risque de formation de fractures mécaniques au-delà de ces pointes (par exemple 80 °C pour le PE-LD (polyéthylène basse densité) ou le PE-X (polyéthylène réticulé)). Lorsque la température désirée a été atteinte et maintenue pendant 20 min, le dispositif est sorti de l'étuve et les aiguilles sont introduites lentement dans les éprouvettes pour obtenir une distance de 8 mm entre les électrodes, puis calées dans cette position. Après refroidissement à la température ambiante, les éprouvettes sont prêtes pour les essais et aucun calage ultérieur des aiguilles en position n'est plus nécessaire.

Pour les matériaux élastomériques, il convient que les aiguilles soient fixées dans leur position d'insertion même après refroidissement et on doit utiliser un dispositif d'insertion permettant d'éviter tout mouvement de l'aiguille pendant l'essai.

Pour les résines de coulée, les électrodes aiguilles sont mises en position comme prescrit avant de couler la résine autour d'elles.

2.2.4 *Disposition des éprouvettes pour l'essai*

Pour les essais selon les méthodes 2.3.1 a) ou 2.3.1 b), au moins 10 éprouvettes conformes à la figure 1a sont disposées en rangées distantes de 25 mm sur une plaque de matériau conducteur (par exemple plaque d'aluminium ou de laiton ayant les arêtes et les coins arrondis avec un rayon de préférence $\geq 1,0$ mm). Les espaces entre les rangées d'éprouvettes sont remplis, sur une hauteur d'au moins 12 mm de blocs du matériau en essai convenablement découpés, de façon que chaque pointe d'aiguille soit complètement entourée par le matériau échantillon (compte non tenu des petits espaces d'air subsistants) et que la distance minimale entre les électrodes aiguilles elles-mêmes ou entre électrodes aiguilles et bords de la plaque soit de 25 mm. Lorsque l'on utilise des éprouvettes conformes à la figure 1b, ces exigences sont automatiquement satisfaites. Les électrodes aiguilles sont enfin raccordées à l'alimentation haute tension par l'intermédiaire d'une deuxième plaque conductrice à bords arrondis maintenue à une distance ≥ 40 mm de l'électrode de masse de façon que la répartition du champ électrique à l'extérieur du dispositif d'essai soit bien définie. Cela peut être réalisé au moyen de supports adéquats.

2.2.3 Test specimens

Test specimens shall have the dimensions indicated in figure 1a. If, however, the susceptibility to electrical treeing is to be detected by the method described in 2.3.1 c) then the specimen shown in figure 1b is recommended for use. The lower (earthed) plane of each specimen may be coated with a suitable conductive layer.

For thermoplastic materials, plaques of the sample material with a thickness of 6 mm are prepared in a heated hydraulic press with an appropriate release foil. From these plaques specimen blocks are cut and fringes at the edges of the specimen blocks are removed if necessary. Cylindrical specimens according to figure 1b can easily be obtained by melt compression or by extrusion.

In order to insert the needle electrodes, the specimens are put into a device with a suitably placed slot containing the needle electrodes. During insertion of specimen blocks into the device, the needle tips should be positioned so as not to touch the specimen surface. The devices containing needles and specimens are heated up to a temperature at which sufficient softening of the sample material allows insertion of the needles into the specimens without damage of needle tips or production of mechanical cracks in the specimens in front of the needle tips (e.g. at 80 °C for PE-LD (low density polyethylene) or PE-X (cross linked polyethylene)). After the sample temperature has been reached and maintained for 20 min, the device is taken from the oven and the needles are slowly advanced into the specimens to give an electrode separation of 8 mm and fixed in this position. After cooling to room temperature the specimens are ready for test and no further fixing of needle position is necessary.

In rubbery materials the needles should be fixed in their inserted position even after cooling and a needle insertion device shall be used which will prevent needle motion during the test.

For casting resins, the needle electrodes are positioned as required before the resin is cast around them.

2.2.4 Specimen arrangement for testing

For testing according to methods 2.3.1 a) or 2.3.1 b), at least 10 specimens according to figure 1a are positioned in rows with 25 mm distance on a plane of conducting material (e.g. an aluminium or brass plate with rounded edges and corners with a recommended radius $\geq 1,0$ mm). The gaps between the specimen rows are filled to a minimum height of 12 mm with appropriately cut blocks of the material to be tested in such a way that each needle tip - regardless of small remaining gaps - is completely surrounded by sample material and the minimum distance between needle electrodes or needle electrodes and plate edges is 25 mm. When using specimens according to figure 1b these requirements are automatically fulfilled. Finally the needle electrodes are connected with the high-voltage supply in such a way that the outer electrical field boundary conditions of the test arrangement are well defined, by means of a second plate with rounded edges at high-voltage potential kept at a distance of ≥ 40 mm from the ground electrode. This may be achieved by the use of suitable supports.