

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
60894**

Première édition
First edition
1987-03

**Guide de procédure d'essai pour la mesure
de la tangente de l'angle de pertes des bobines
et barres d'enroulements de machines**

**Guide for a test procedure for the measurement
of loss tangent of coils and bars
for machine windings**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60894: 1987

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
60894**

Première édition
First edition
1987-03

**Guide de procédure d'essai pour la mesure
de la tangente de l'angle de pertes des bobines
et barres d'enroulements de machines**

**Guide for a test procedure for the measurement
of loss tangent of coils and bars
for machine windings**

© IEC 1987 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

K

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

Publication 894 de la CEI
(Première édition - 1987)
Guide de procédure d'essai pour
la mesure de la tangente de l'angle
de perte des bobines et barres
d'enroulement des machines

IEC Publication 894
(First edition - 1987)
Guide for a test procedure
for the measurement of loss tangent
of coils and bars
of machine windings

C O R R I G E N D U M 1

Correction du texte anglais seulement.

Correction of the English text only.

Page 9

Sub-clause 3.1, instead of:

3.1 Loss tangent ($\tan \delta$)

The tangent of the dielectric loss angle of an insulation system as a function of voltage. Sometimes used for this property are $\tan \delta$, dissipation factor, dielectric loss factor.

Note.— Other terms sometimes used for this property are $\tan \delta$, dissipation factor, dielectric loss factor.

read:

3.1 Loss tangent ($\tan \delta$)

The tangent of the dielectric loss angle of an insulation system as a function of voltage.

Note.— Other terms sometimes used for this property are $\tan \delta$, dissipation factor, dielectric loss factor.

Page 18

Figure 2, legend, last line, instead of:

Position B of earthing switch for testing windings in earthed core.

read:

Position B of earthing switch for testing windings in earthed core.

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	8
3. Définitions	8
4. Mesure de la tangente de l'angle de pertes	10
5. Méthode de mesure	10
5.1 Dispositif de mesure	10
5.2 Préparation de la bobine ou de la barre d'essai	10
5.3 Procédure d'essai	12
6. Evaluation	12
ANNEXE A — Machines postimprégnées	14
ANNEXE B — Electrode de mesure et anneaux de garde	16
FIGURES	18

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Object	9
3. Definitions	9
4. Measurement of loss tangent	11
5. Method of measurement	11
5.1 Measuring equipment	11
5.2 Preparation of the test coil or bar	11
5.3 Test procedure	13
6. Evaluation	13
APPENDIX A — Post impregnated machines	15
APPENDIX B — Measuring electrode and guard rings	17
FIGURES	18

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE DE PROCÉDURE D'ESSAI POUR LA MESURE DE LA TANGENTE DE L'ANGLE DE PERTES DES BOBINES ET BARRES D'ENROULEMENTS DE MACHINES

PRÉAMBULE

- 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.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi le Comité d'Etudes n° 2, de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapports de vote
2(BC)510	2(BC)516	2(BC)518 et 518A 2(BC)522	2(BC)521 2(BC)524

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport.

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans le présent rapport:

- Publications n°s 60-2 (1973): Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais.
 212 (1971): Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.
 270 (1981): Mesures des décharges partielles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE FOR A TEST PROCEDURE FOR THE MEASUREMENT OF LOSS TANGENT OF COILS AND BARS FOR MACHINE WINDINGS

FOREWORD

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

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No. 2: Rotating Machinery.

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Reports on Voting
2(CO)510	2(CO)516	2(CO)518 and 518A 2(CO)522	2(CO)521 2(CO)524

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

The following IEC publications are quoted in this report:

- Publications Nos. 60-2 (1973): High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.
 212 (1971): Standard Conditions for Use prior to and during the Testing of Solid Electrical Insulating Materials.
 270 (1981): Partial Discharge Measurements.

GUIDE DE PROCÉDURE D'ESSAI POUR LA MESURE DE LA TANGENTE DE L'ANGLE DE PERTES DES BOBINES ET BARRES D'ENROULEMENTS DE MACHINES

INTRODUCTION

Les caractéristiques des pertes diélectriques à l'étude sont celles concernant en premier lieu l'isolation principale de masse entre le faisceau du conducteur (y compris éventuellement la protection interne contre les décharges partielles) et la protection externe anti-effluves. Seule la partie de l'isolation conductrice qui est diélectriquement en série avec l'isolation de masse entre dans la mesure.

L'angle de pertes diélectriques (δ) de l'isolation est exprimé en termes de tangente de cet angle ($\tan \delta$), défini au sens du présent guide comme tangente de l'angle de pertes. Lorsque la tangente de l'angle de pertes a une valeur comprise entre 0 et environ 100×10^{-3} , elle a pratiquement la même valeur que le facteur de puissance diélectrique (le sinus de l'angle de pertes diélectriques).

La tangente de l'angle de pertes est généralement mesurée dans une plage de tensions à intervalles de $0,2 U_N$ à partir de $0,2 U_N$. Le terme delta tangente delta ($\Delta \tan \delta$) s'applique à la différence entre la tangente de l'angle de pertes mesurée entre des intervalles consécutifs de $0,2 U_N$ (voir figure 1, page 18). Il est défini au sens du présent guide comme le delta de la tangente de l'angle de pertes.

La mesure de la tangente de l'angle de pertes en utilisant des anneaux de garde à des tensions inférieures aux tensions d'amorçage des décharges représente l'amplitude des pertes diélectriques dans l'isolation solide. Une perte supérieure à la normale de manière significative mesurée dans l'une quelconque des bobines ou barres indique une certaine différence dans la structure de l'isolation, telle qu'il peut en résulter d'une composition incorrecte de la résine ou d'une polymérisation non appropriée. L'effet du degré de polymérisation (réticulation) de la résine sur la tangente de l'angle de pertes peut être constaté lorsque la mesure est effectuée en fonctionnement sur des stators totalement bobinés, car les pertes se réduisent fréquemment lors du début de vie de la machine. Cela indique que le degré de polymérisation de la résine s'accroît fréquemment pendant un certain temps après le processus normal de fabrication.

Lorsque la tension d'essai augmente, des décharges partielles à l'intérieur des occlusions gazeuses (vacuoles) de la structure isolante provoquent une augmentation de la tangente de l'angle de pertes dès que le gradient sur chaque vacuole dépasse la valeur critique. Des pertes non linéaires par conduction dans la structure de l'isolation peuvent être présentes et provoquer également une augmentation de la tangente de l'angle de pertes avec la tension.

Les valeurs maximales de la tangente de l'angle de pertes à $0,2 U_N$ (tangente de l'angle de pertes $0,2$) et la différence de valeur de la tangente de l'angle de pertes par intervalles de tension de $0,2 U_N$ ($\Delta \tan \delta$) sont généralement spécifiées.

Les mesures de la tangente de l'angle de pertes sont analysées dans le présent guide; elles concernent les caractéristiques de pertes moyennes (ou globales) de l'isolation dans son intégralité. Elles ne donnent aucune indication sur la répartition des pertes à l'intérieur d'un échantillon; en conséquence, la présence de zones localisées à hautes pertes dans une isolation par ailleurs à faibles pertes n'est pas détectée.

Pour la mesure des décharges partielles (décharges électriques localisées), se référer à la Publication 270 de la CEI.

1. Domaine d'application

Les caractéristiques d'un système d'isolation peuvent être évaluées en termes de rigidité diélectrique, résistance d'isolement, pertes diélectriques, etc.

GUIDE FOR A TEST PROCEDURE FOR THE MEASUREMENT OF LOSS TANGENT OF COILS AND BARS FOR MACHINE WINDINGS

INTRODUCTION

The dielectric loss characteristics under consideration are those mainly relating to the main ground-wall insulation between the conductor structure (including internal corona shielding if such exists) and the external corona shielding. Only that part of the conductor insulation which is dielectrically in series with the ground-wall insulation enters into the measurement.

The dielectric loss angle (δ) of the insulation is declared in terms of the tangent of this angle ($\tan \delta$), which for the purpose of this guide is defined as loss tangent. When the loss tangent is within the range 0 to approximately 100×10^{-3} , it has practically the same value as the dielectric power factor (the sine of the dielectric loss angle).

Loss tangent is usually measured over a range of voltages at $0.2 U_N$ intervals starting at $0.2 U_N$. The term delta tan delta ($\Delta \tan \delta$) refers to the difference in loss tangent measured between adjacent $0.2 U_N$ intervals (see Figure 1, page 18). It is defined as delta loss tangent for the purpose of this guide.

Loss tangent measurement using guard electrodes at voltages below the inception of discharges represents the magnitude of dielectric loss in the solid insulation. A significantly higher than normal loss measured on any coil or bar indicates some difference in the structure of the insulation, such as may arise from incorrect resin composition or inadequate cure. The effect of the degree of resin cure (crosslinking) on loss tangent can be seen when measurement is made in service on fully wound stators, in that the loss often reduces during the early life of the machine. This indicates that the degree of resin cure often increases for some time after the normal manufacturing process.

As the test voltage is raised, partial discharges within gaseous inclusions (voids) in the insulation structure cause an increase in loss tangent as the critical gradient on each void is exceeded. Conductive non-linear losses in the insulation structure may be present and also cause an increase in loss tangent with voltage.

Maximum values of loss tangent at $0.2 U_N$ (loss tangent 0.2) and loss tangent difference per $0.2 U_N$ voltage interval ($\Delta \tan \delta$) are usually specified.

The loss tangent measurements which are discussed in this guide relate to the mean, or global, loss characteristics of the insulation as a whole. They give no indication of the distribution of loss within the specimen; therefore, the presence of localized areas of high loss in an otherwise low loss insulation is not detected.

For the measurement of partial discharges (localized electrical discharges) refer to IEC Publication 270.

1. Scope

The characteristics of an insulation system can be evaluated in terms of dielectric strength, insulation resistance, dielectric loss, etc.

Le présent rapport est applicable à une méthode de mesure des pertes diélectriques d'un système d'isolation concernant les parties d'encoche de bobines ou de barres neuves pour machines électriques tournantes de tension assignée U_N supérieure ou égale à 5 kV.

L'essai est applicable à des bobines ou à des barres préformées pour lesquelles l'isolation est polymérisée avant la mise en place de l'enroulement dans le stator.

Pour les essais des machines postimprégnées, voir l'annexe A.

2. Objet

La régularité du niveau de fabrication est jugée, dans une certaine mesure, à partir de la tangente de l'angle de pertes diélectriques en fonction de la tension et par l'analyse statistique des résultats d'essais.

Pour un système d'isolation connu, on peut estimer les propriétés suivantes:

- une faible valeur de la tangente de l'angle de pertes à basse tension ($0,2 U_N$) indique un degré élevé de réticulation moléculaire de l'agent liant (degré de polymérisation de la résine).
- l'amplitude de la variation de la tangente delta par augmentation de la tension fournit quelques indications sur la présence de vacuoles dans l'isolation.

3. Définitions

3.1 Tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$)

Tangente de l'angle de pertes diélectriques d'un système d'isolation en fonction de la tension.

Note. — Les autres termes utilisés parfois pour cette caractéristique sont $\tan \delta$, facteur de dissipation, facteur de pertes diélectriques.

3.2 Variation de la tangente de l'angle de pertes ($\Delta \tan \delta$)

Différence dans la tangente de l'angle de pertes mesurée à deux tensions prescrites, généralement à intervalles de $0,2 U_N$.

Note. — Un autre terme est parfois utilisé pour cette propriété, «power factor tip-up».

3.3 U_N

Tension efficace assignée entre phases par laquelle le système est désigné et à laquelle font référence certaines caractéristiques de fonctionnement du système.

3.4 Préformés

Bobines ou barres mises à la dimension voulue, isolées et pratiquement terminées avant mise en place dans le stator.

3.5 Gradation non linéaire de la résistance

Extension de la protection contre l'effet couronne dans la partie d'encoche de la bobine ou de la barre englobant les caractéristiques de la résistance qui ne sont pas linéaires en fonction de la tension. Cela a pour but de réduire les gradients potentiels le long de la surface des bobines si elles dépassent des extrémités du noyau.

3.6 Température ambiante

Température normalisée à plage réduite (18 °C à 28 °C), indiquée à la note 5 du tableau I de la Publication 212 de la CEI.

3.7 Essai d'échantillonnage aléatoire

Essai effectué sur des bobines ou des barres qui représentent adéquatement la configuration de l'élément terminé à employer dans la machine, en vue d'évaluer la conception de base, le type de matériau, les procédures et processus de fabrication utilisés dans le système d'isolation.

This report is applicable to a method of measuring dielectric loss properties of the insulation system of the slot portions of new coils or bars for rotating electrical machines having rated voltage U_N of 5 kV and above.

The test is applicable to form wound coils or bars in which the insulation is cured before the winding is inserted in the stator.

For tests on post-impregnated machines, see Appendix A.

2. Object

The uniformity of manufacture is judged to some extent by measurement of the dielectric loss tangent as a function of voltage and by statistical evaluation of the test results.

For a known insulation system, the following properties can be assessed:

- a low loss tangent at low voltage ($0.2 U_N$) indicates a high degree of molecular crosslinking of the bonding medium (degree of resin cure),
- the magnitude of $\Delta \tan \delta$ by increase of voltage gives some indication of the void content of the insulation.

3. Definitions

3.1 Loss tangent ($\tan \delta$)

The tangent of the dielectric loss angle of an insulation system as a function of voltage. Sometimes used for this property are $\tan \delta$, dissipation factor, dielectric loss factor.

Note. — Other terms sometimes used for this property are $\tan \delta$, dissipation factor, dielectric loss factor.

3.2 Delta tan delta ($\Delta \tan \delta$)

The difference in loss tangent measured at two prescribed voltages, usually at $0.2 U_N$ intervals.

Note. — Another term sometimes used for this property is power factor tip-up.

3.3 U_N

The rated r.m.s. phase-to-phase voltage by which the system is designated and to which certain operating characteristics of the system are related.

3.4 Form wound

Coils or bars which are preformed to shape, insulated and substantially completed before insertion into the stator.

3.5 Non-linear resistance grading

An extension of the corona shielding in the slot portion of the coil or bar embodying resistance characteristics which are non-linear with voltage. It has the purpose of reducing potential gradients along the surface of the coils where they protrude from the ends of the core.

3.6 Room temperature

The reduced range standard ambient (18°C to 28°C) stated in footnote 5 to Table I of IEC Publication 212.

3.7 Random sample test

A test carried out on coils or bars which adequately represent the configuration of the finished item to be used in the machine, for the purpose of evaluating the basic design, type of materials, manufacturing procedures and processes used in the insulation system.

4. Mesure de la tangente de l'angle de pertes

La tangente de l'angle de pertes est mesurée sur la bobine ou la barre à température ambiante et à intervalles de tension de $0,2 U_N$ compris dans la plage de $0,2 U_N$ à $1,0 U_N$.

Pour les bobines, chaque côté de bobine doit être mesuré séparément et tous les résultats sont notés. L'information suivante est obtenue:

- la tangente de l'angle de pertes à faible tension ($0,2 U_N$);
- la variation de la tangente de l'angle de pertes pour chaque intervalle de tension;
- la forme de la courbe de la tangente de l'angle de pertes en fonction de la tension (figure 1, page 18).

Si un système de mesure automatique est utilisé, la tension est augmentée de façon continue. Avec cette méthode d'essai, il peut être plus commode d'exprimer la variation de la tangente de l'angle de pertes dans des intervalles de tension inférieurs à $0,2 U_N$, compte tenu du système automatique de mesure et d'évaluation.

5. Méthode de mesure

5.1 Dispositif de mesure

La mesure est effectuée au moyen d'un pont de Schering ou d'un type de pont équivalent (figure 2, page 18, ou figure 3, page 19). Un système à anneaux de garde est généralement exigé. Une alimentation en tension alternative à amplitude variable est utilisée, dont les caractéristiques assignées sont suffisantes pour fournir la tension mesurée à travers la capacité de l'échantillon, cette alimentation étant conforme aux prescriptions de la Publication 60-2 de la CEI.

Il convient que le pont donne des valeurs de la tangente de l'angle de pertes avec une précision égale à $\pm(0,1 \times 10^{-3} + 0,01 \times \tan \delta)$. Il convient d'effectuer des vérifications pour le pont et l'alimentation afin de s'assurer que cette précision est atteinte quel que soit le type de pont approprié utilisé et indépendamment de l'opérateur. Il convient de noter les lectures en millièmes afin de faciliter l'interprétation des résultats.

Il convient d'étalonner le pont par rapport à une référence auxiliaire.

5.2 Préparation de la bobine ou de la barre d'essai

Lorsqu'un revêtement conducteur est appliqué en permanence sur la partie d'encoche de la bobine ou de la barre pour former une protection contre l'effet couronne, ce revêtement est utilisé comme électrode de mesure. L'influence de la résistance du revêtement sur la mesure de la tangente de l'angle de pertes est évitée en appliquant, par exemple, un rubanage en spirale, réalisé à l'aide d'une feuille de métal ou d'un fil métallique, sur la longueur totale (ou une longueur légèrement inférieure à la longueur totale) du revêtement conducteur.

Lorsqu'un tel revêtement n'est pas utilisé, il convient d'appliquer une électrode provisoire en matériau conducteur, tel qu'une peinture à faible résistivité ou une feuille de métal très mince appliquée de façon à réaliser un contact intime avec la partie d'encoche.

Il convient d'appliquer des anneaux de garde conducteurs, réalisés de préférence en feuille métallique de façon à réaliser un contact intime autour de la surface de la bobine ou de la barre, juste à l'extérieur de l'électrode de mesure. Il convient que la longueur des anneaux de garde soit égale ou supérieure à 10 mm et que la distance entre l'électrode de mesure et chaque anneau de garde soit aussi faible que possible et inférieure ou égale à 4 mm. L'arrangement de l'électrode est indiqué à la figure 4, page 19.

Des détails pratiques supplémentaires sont analysés dans l'annexe B.

4. Measurement of loss tangent

The loss tangent is measured on the coil or bar at room temperature at voltage intervals of $0.2 U_N$ over the range $0.2 U_N$ to $1.0 U_N$.

For coils, each coil side is to be measured separately and all results are recorded. The following information is obtained:

- loss tangent at low voltage ($0.2 U_N$);
- delta tan delta for each voltage interval;
- shape of loss tangent versus voltage curve (Figure 1, page 18).

If an automatic measuring system is used, the voltage is increased continuously. With this method of test it may be more convenient to express delta tan delta over smaller voltage intervals than $0.2 U_N$ depending upon the automatic measuring and evaluating system.

5. Method of measurement

5.1 Measuring equipment

Measurement is carried out by means of a Schering bridge or an equivalent type of bridge (Figure 2, page 18 or Figure 3, page 19). A guard ring arrangement is usually required. A variable amplitude alternating voltage supply is used, having sufficient rating to provide the measured voltage across the capacitance of the specimen and complying with the requirements of IEC Publication 60-2.

The bridge should give values of loss tangent accurate to $\pm(0.1 \times 10^{-3} + 0.01 \times \tan \delta)$. Checks on bridge and power supply should be made to ensure that this accuracy will be achieved whatever the appropriate bridge actually used and irrespective of the operator. Readings should be recorded in units per thousand, to facilitate interpretation of results.

The bridge should be calibrated against a sub-standard reference.

5.2 Preparation of the test coil or bar

When a permanent conducting coating is applied to the slot portion of the coil or bar for the purpose of corona shielding, this coating is used as the measuring electrode. The effect of coating resistance on the loss tangent measurement is avoided by applying, for example, a spiral wrapping of metal foil or wire over the full length (or slightly less than the full length) of the conducting coating.

When no such coating is used, a temporary electrode of conducting material should be applied such as low resistivity paint, or very thin metal foil applied so as to make intimate contact with the slot portion.

Conducting guard rings, preferably of metal foil, should be applied so as to make intimate contact around the coil or bar surface just outside the measuring electrode. The length of guard rings should be not less than 10 mm; the distance between the measuring electrode and each guard ring should be as small as practicable and no greater than 4 mm. The electrode arrangement is shown in Figure 4, page 19.

Further practical details are discussed in Appendix B.

5.3 Procédure d'essai

Il convient que la bobine ou la barre à l'essai soit convenablement isolée de la terre. Il convient que tous les conducteurs soient reliés au côté haute tension de l'alimentation et l'électrode et les anneaux de garde connectés au circuit du pont. Les figures 2, 3 et 4 indiquent la disposition du circuit et des connexions.

Il convient de faire référence à la notice de l'appareillage pour les détails précis de procédures de vérification du circuit d'essai concernant les effets parasites, etc., les corrections appropriées et la réalisation de l'essai.

Pour une bonne reproductibilité des résultats d'essais, il convient que chaque séquence complète d'essai soit réalisée dans approximativement le même laps de temps. Dans le cas de mesure automatique, il convient que le relevé de la courbe totale s'effectue en un temps supérieur ou égal à 15 s. Pour toute autre méthode de mesure, une mise sous tension préalable, par exemple 15 s à $1,0 U_N$, a été jugée nécessaire pour stabiliser les résultats.

6. Evaluation

Afin d'évaluer la régularité du niveau de fabrication, la valeur initiale de $\tan \delta$ à $0,2 U_N$, la valeur de $\tan \delta$ pour un intervalle de tension de $0,6 U_N$ à $0,2 U_N$ et la valeur maximale de $\Delta \tan \delta$ par intervalles de tension de $0,2 U_N$ peuvent être portées sur un diagramme à échelle linéaire pour ces caractéristiques en fonction d'une échelle de distribution cumulative de Gauss. A partir de ce diagramme, les valeurs caractéristiques pour 95% ou 99,5% peuvent être obtenues et limitées.

5.3 Test procedure

The coil or bar to be tested should be suitably insulated from earth. All the conductors should be connected to the high voltage side of the supply and the electrode and guard rings connected to the bridge circuit. Figures 2, 3 and 4 show the circuit and connection arrangements.

For explicit details of the procedure for checking the test circuit for stray effects etc., making appropriate corrections and carrying out the test, reference should be made to the bridge manual.

For good reproducibility of test results, each complete test sequence should be performed in approximately the same length of time. In the case of automatic measurement, the time for recording the whole curve should be not less than 15 s. For either method of measurement, pre-electrification, for example 15 s at $1.0 U_N$ has been found necessary in order to stabilize the results.

6. Evaluation

In order to judge the uniformity of manufacture, the initial value of $\tan \delta$ at $0.2 U_N$, the value of $\tan \delta$ for the voltage interval $0.6 U_N$ to $0.2 U_N$ and the maximum value of $\Delta \tan \delta$ per $0.2 U_N$ voltage interval may be plotted on a chart with a linear scale of these characteristics against a scale of the Gaussian cumulative distribution function. From this plot the characteristic value for 95% or 99.5% can be seen and may be limited.

ANNEXE A

MACHINES POSTIMPRÉGNÉES

Dans le cas de machines dont les enroulements sont polymérisés dans le stator, les essais sur les bobines ou barres séparées ne sont pas possibles, car les caractéristiques des pertes diélectriques de l'isolation d'encoche ne sont obtenues qu'après mise en place du bobinage dans le stator et polymérisation. Les essais peuvent être effectués sur l'enroulement complet, mais en comparant les résultats obtenus avec ceux d'essais sur bobines individuelles, il est recommandé de tenir compte du fait que les résultats obtenus à partir d'un enroulement complet peuvent être considérablement influencés par la gradation non linéaire de la résistance et la longueur de la partie d'encoche.

Avec ce type de machine, un essai d'échantillonnage aléatoire peut être accepté au moyen duquel deux bobines identiques (ou quatre barres) sont fabriquées comme pour la machine en production, en même temps et dans les mêmes conditions que l'enroulement en production et sont disposées dans de fausses encoches.

Ces échantillons sont essayés conformément au présent rapport.

Les résultats d'essais effectués sur ces échantillons avec et sans anneaux de garde, mais avec une gradation non linéaire de la résistance peuvent être utilisés pour évaluer l'influence du système de suppression de l'effet couronne, mais l'évaluation n'est pas couverte par le présent rapport.

APPENDIX A

POST IMPREGNATED MACHINES

In the case of machines whose windings are cured in the stator, tests on the separate coils or bars are not possible because the dielectric loss characteristics of the slot insulation are not achieved until after the winding is inserted in the stator and the curing operation carried out. Tests can be carried out on the complete winding, but comparison of such results with those of tests on individual coils should take account of the fact that results from the complete winding can be considerably influenced by the non-linear resistance grading and the length of the slot portion.

With this type of machine a random sample test may be agreed whereby two identical coils (or four bars) are manufactured as for the production machine, at the same time and under the same conditions as the production winding and accommodated in slot models.

These samples are tested in accordance with this report.

Results of tests carried out on these samples with guard electrodes and without guard electrodes but with non-linear resistance grading can be used to judge the influence of the corona suppression system, but the evaluation is not covered by this report.

ANNEXE B

ÉLECTRODE DE MESURE ET ANNEAUX DE GARDE

Lorsqu'une feuille de métal est utilisée comme électrode de mesure, toute vacuole sous cette feuille produira une augmentation appréciable de la valeur mesurée de la tangente de l'angle de pertes, particulièrement à tensions plus élevées. Il convient de s'efforcer de réduire l'espace d'air sous la feuille.

La résistance de contact avec l'électrode de mesure et la résistance de l'électrode de mesure elle-même, à moins qu'elles ne soient réduites par un écran à faible résistance de contact, peuvent affecter les résultats en mettant en évidence une valeur plus élevée que la valeur réelle à basse tension suivie de valeurs réduites (courbe négative) lors des premiers intervalles de tension.

Normalement, il ne devrait y avoir aucun contact électrique entre les électrodes de mesure et les anneaux de garde et, en cas de contestation, cela est la disposition normale. Toutefois, il arrive fréquemment que les anneaux de garde puissent être appliqués à une gradation non linéaire de la résistance sans effet significatif sur les valeurs de la tangente de l'angle de pertes. Cette méthode peut être utile pour les essais individuels en fabrication.

Lorsqu'il est exigé de déterminer les valeurs réelles de la tangente de l'angle de pertes des bobines ou des barres dont la gradation non linéaire de résistance est appliquée avant la polymérisation de la résine, il est nécessaire d'introduire de faibles interstices aux deux extrémités de l'électrode de mesure lors de la fabrication. Après l'essai, il est recommandé de couvrir ces interstices d'un revêtement conducteur.

APPENDIX B

MEASURING ELECTRODE AND GUARD RINGS

When metal foil is used as the measuring electrode, any voids under this foil will result in a substantial increase in measured value of loss tangent particularly at the higher voltages. Every effort should be made to reduce the air space under the foil.

Contact resistance with the measuring electrode and the resistance of the measuring electrode itself, unless reduced by means of a low resistance contact screen, can affect the results by showing a higher than true value at low voltage followed by reducing values (negative curve) over the first voltage intervals.

Normally there should be no electrical contact between the measuring electrode and guard rings and, in the event of dispute, this is the standard arrangement. However, it is often found that guard rings can be applied onto the non-linear resistance grading with no significant effect on loss tangent values. This method may be useful in routine production testing.

When it is required to determine the true loss tangent values of coils or bars which have the non-linear resistance grading applied before the resin is cured, it is necessary to introduce small gaps at both ends of the measuring electrode during manufacture. These gaps should be covered with a conducting coating after the test.

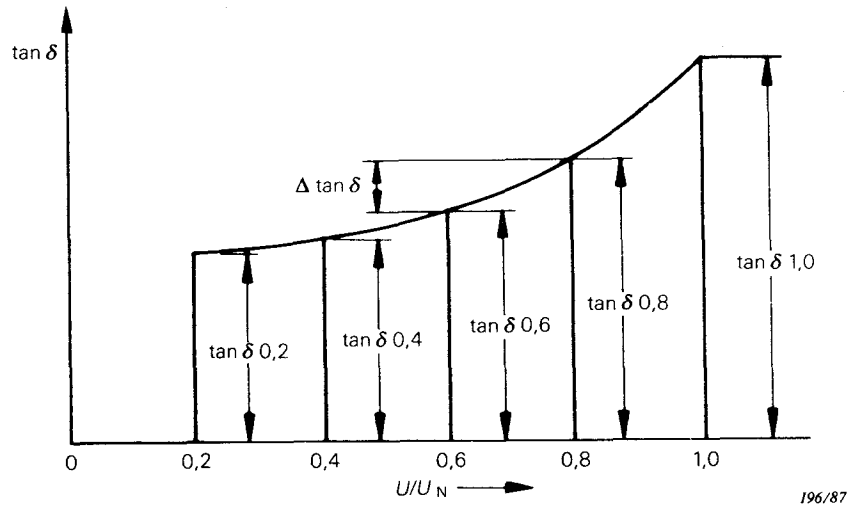


FIG. 1. — Courbe de la $\tan \delta$ en fonction du rapport U/U_N (exemple d'une série de mesures).
Curve of $\tan \delta$ against the ratio U/U_N (example of a series of measurements).

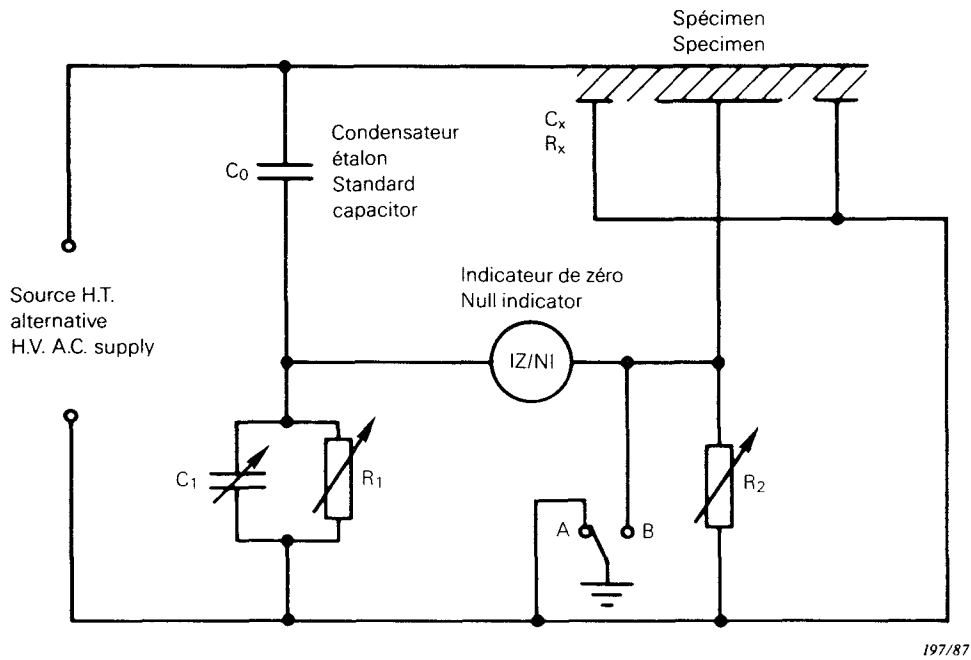


FIG. 2. — Pont de Schering H.T. — Schéma de principe.
H.V. Schering bridge — Basic circuit.

Positions de l'interrupteur de terre dans les figures 2 et 3 :

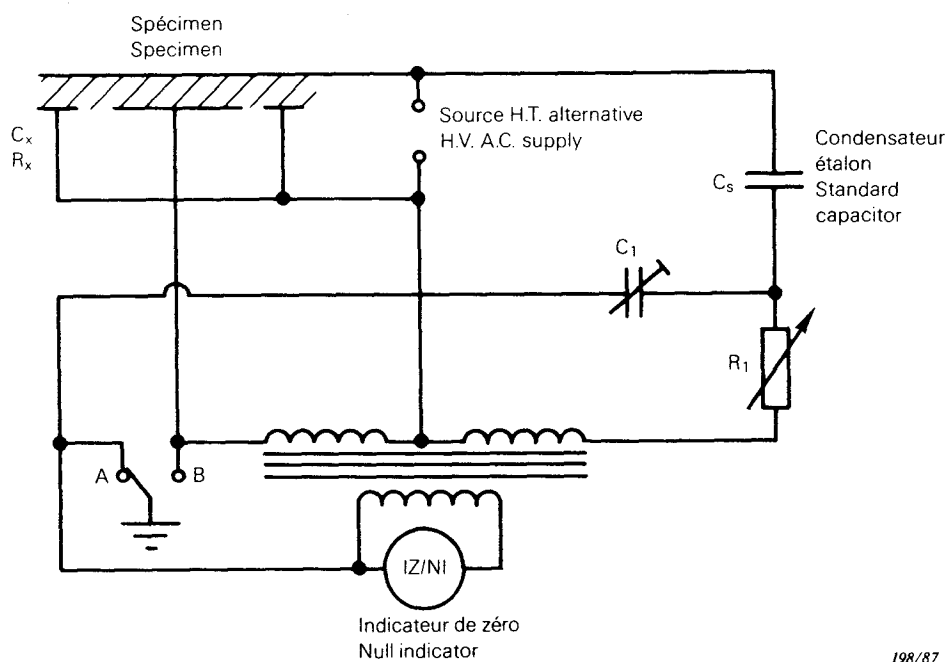
Position A de l'interrupteur de terre pour l'essai des bobines ou barres non reliées à la terre.

Position B de l'interrupteur de terre pour l'essai des enroulements montés dans un noyau mis à la terre.

Positions of earthing switch in Figures 2 and 3:

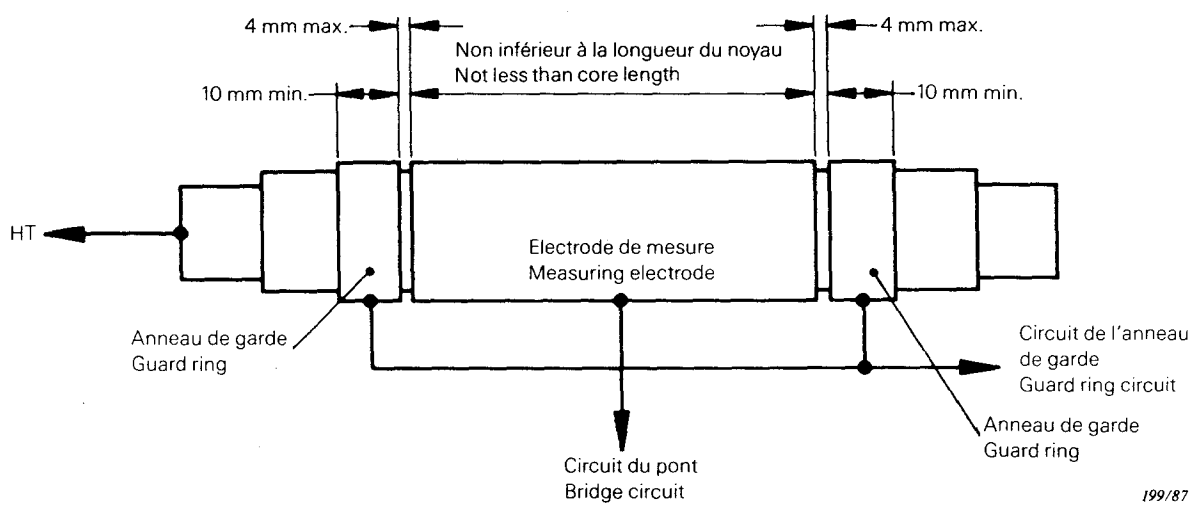
Position A of earthing switch for testing coils or bars not earthed.

Position B of earthing switch for testing windings in earthed core.



198/87

FIG. 3. — Pont à transformateur — Schéma de principe.
Ampere turn bridge — Basic circuit.



199/87

FIG. 4. — Arrangement de l'électrode.
Electrode arrangement.

ICS 29.160.10
