NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
93

Deuxième édition
Second edition
1980

Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides

Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 93: 1980

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

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 électrotechnique*;

– 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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
93

Deuxième édition
Second edition
1980

Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides

Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials

© CEI 1980 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 R

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

SOMMAIRE

Pages

PRÉAMBULE 4

PRÉFACE 4

Articles

1. Domaine d'application 6
2. Définitions 6
3. Portée 8
4. Alimentation 10
5. Méthodes de mesure et précision 10
6. Eprouvettes 14
7. Nature des électrodes 16
8. Mise en place des électrodes et de l'éprouvette 20
9. Conditionnement 20
10. Méthode d'essai 20
11. Calcul 22
12. Rapport 24

ANNEXE A — Exemples de méthodes de mesure — Précision correspondante 28

ANNEXE B — Formules pour calculer A et p 34

FIGURES 36

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

PREFACE 5

Clause

1. Scope 7
2. Definitions 7
3. Significance 9
4. Power supply 11
5. Measuring methods and accuracy 11
6. Test specimens 15
7. Electrode material 17
8. Specimen handling and mounting 21
9. Conditioning 21
10. Test procedure 21
11. Calculation 23
12. Report 25

APPENDIX A — Examples of measuring methods and their accuracy 29

APPENDIX B — Formulae for calculating A and p 35

FIGURES 36

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES POUR LA MESURE DE LA RÉSISTIVITÉ TRANSVERSALE ET DE LA RÉSISTIVITÉ SUPERFICIELLE DES MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES SOLIDES

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

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 15A: Essais de courte durée, du Comité d'Etudes N° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Elle constitue la deuxième édition de la Publication 93 de la CEI.

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Toronto en 1976. A la suite de cette réunion, un projet, document 15A(Bureau Central)35, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1977.

Des modifications, document 15A(Bureau Central)39, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en octobre 1979.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Allemagne
Autriche
Belgique
Brésil
Bulgarie
Canada
Chine
Corée (République de)
Danemark
Egypte
Espagne
Etats-Unis d'Amérique
France
Irlande
Italie
Norvège
Nouvelle-Zélande
Pologne
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Yougoslavie

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

Publications n°s 167: Méthodes d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement des isolants solides.
212: Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.
260: Enceintes d'épreuve à humidité relative constante fonctionnant sans injection de vapeur.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHODS OF TEST FOR VOLUME RESISTIVITY AND SURFACE RESISTIVITY OF SOLID ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

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 standard has been prepared by Sub-Committee 15A: Short-time Tests, of IEC Technical Committee No. 15: Insulating Materials.

It forms the second edition of IEC Publication 93.

A first draft was discussed at the meeting held in Toronto in 1976. As a result of this meeting, a draft, Document 15A(Central Office)35, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1977.

Amendments, Document 15A(Central Office)39, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in October 1979.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria
Belgium
Brazil
Bulgaria
Canada
China
Czechoslovakia
Denmark
Egypt
France
Germany
Ireland
Italy
Korea (Republic of)
New Zealand
Norway
Poland
Spain
Sweden
Switzerland
United Kingdom
United States of America
Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 167: Methods of Test for the Determination of the Insulation Resistance of Solid Insulating Materials.
212: Standard Conditions for Use Prior to and during the Testing of Solid Electrical Insulating Materials.
260: Test Enclosures of Non-injection Type for Constant Relative Humidity.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

MÉTHODES POUR LA MESURE DE LA RÉSISTIVITÉ TRANSVERSALE ET DE LA RÉSISTIVITÉ SUPERFICIELLE DES MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES SOLIDES

1. Domaine d'application

Les présentes méthodes définissent les procédés de mesure de la résistance transversale et de la résistance superficielle, ainsi que les calculs de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides.

Les essais de résistance transversale et de résistance superficielle sont affectés par les facteurs suivants: valeur de la tension et durée d'application de la tension, nature et géométrie des électrodes, température et humidité de l'atmosphère ambiante et des éprouvettes pendant le conditionnement et la mesure. Ces paramètres font l'objet de recommandations.

2. Définitions

2.1 *Résistance transversale*

Quotient de la tension continue appliquée entre deux électrodes placées sur deux faces (opposées) d'une éprouvette par le courant en régime établi entre ces électrodes, à l'exclusion du courant circulant en surface et en ne tenant pas compte des phénomènes de polarisation éventuels sur les électrodes.

Note. — Sauf indication contraire, la résistance transversale est déterminée après une durée d'application de la tension de 1 min.

2.2 *Résistivité transversale*

Quotient de l'intensité du champ électrique continu par la densité du courant en régime établi dans un matériau isolant. Elle correspond pratiquement à la résistance transversale réduite à une unité de volume cubique.

Note. — L'unité SI de résistivité transversale est l'ohm-mètre. On utilise également en pratique l'ohm-centimètre.

2.3 *Résistance superficielle*

Quotient de la tension continue appliquée entre deux électrodes placées sur une face d'une éprouvette par le courant entre les électrodes après une durée d'application donnée de la tension, en ne tenant pas compte des phénomènes de polarisation éventuels sur les électrodes.

Notes 1. — Sauf spécification contraire, la résistance superficielle est déterminée après une durée d'application de la tension de 1 min.

2. — En général, le courant passe essentiellement par une couche superficielle de l'éprouvette, ainsi que par tout dépôt d'humidité et d'impureté superficielle associé, mais il comprend aussi une composante circulant à l'intérieur de l'éprouvette.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

METHODS OF TEST FOR VOLUME RESISTIVITY AND SURFACE RESISTIVITY OF SOLID ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

1. Scope

These methods of test cover procedures for the determination of volume and surface resistance and calculations for the determination of volume and surface resistivity of solid electrical insulating materials.

Both volume resistance and surface resistance tests are affected by the following factors: the magnitude and time of voltage application, the nature and geometry of the electrodes, and the temperature and humidity of the ambient atmosphere and of the specimens during conditioning and measurement. Recommendations are made for these factors.

2. Definitions

2.1 *Volume resistance*

The quotient of a direct voltage applied between two electrodes placed on two faces (opposite) of a specimen, and the steady-state current between the electrodes, excluding current along the surface, and neglecting possible polarization phenomena at the electrodes.

Note. — Unless otherwise specified, the volume resistance is determined after 1 min of electrification.

2.2 *Volume resistivity*

The quotient of a d.c. electric field strength and the steady-state current density within an insulating material. In practice it is taken as the volume resistance reduced to a cubical unit volume.

Note. — The SI unit of volume resistivity is the ohm metre. In practice the unit ohm centimetre is also used.

2.3 *Surface resistance*

The quotient of a direct voltage applied between two electrodes on a surface of a specimen, and the current between the electrodes at a given time of electrification, neglecting possible polarization phenomena at the electrodes.

Notes 1. — Unless otherwise specified, the surface resistance is determined after 1 min of electrification.

2. — The current generally passes mainly through a surface layer of the specimen and any associated moisture and surface contaminant, but it also includes a component through the volume of the specimen.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

2.4 *Résistivité superficielle*

Quotient de l'intensité du champ électrique continu par la densité du courant linéaire dans une couche superficielle d'un matériau isolant. En pratique, la résistivité superficielle est prise égale à la résistance superficielle réduite à une surface carrée. La dimension du carré est quelconque.

Note. — L'unité SI de résistivité superficielle est l'ohm. Dans la pratique, elle est parfois exprimée en «ohms par carré».

2.5 *Electrodes*

Les électrodes de mesure sont des conducteurs de forme, de dimensions et de configuration définies en contact avec l'éprouvette à mesurer.

Remarque générale. — La *résistance d'isolement* est le quotient de la tension continue appliquée entre deux électrodes en contact avec une éprouvette par le courant global qui traverse ces électrodes. La résistance d'isolement dépend à la fois de la résistivité superficielle et de la résistivité transversale de l'éprouvette (voir Publication 167 de la CEI: Méthodes d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement des isolants solides).

3. Portée

3.1 On utilise en général des matériaux isolants pour isoler les composants d'un système électrique les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre; les isolants solides peuvent également servir de support mécanique. Pour ces utilisations, il est généralement souhaitable que le matériau présente à la fois une résistance d'isolement de valeur aussi élevée que possible et des propriétés mécaniques, chimiques et thermiques acceptables. La résistance superficielle varie très rapidement avec l'humidité, tandis que la résistance transversale ne varie que très lentement, bien que l'amplitude des variations de cette dernière puisse être supérieure.

3.2 La résistivité transversale peut être utile à connaître pour le choix d'un matériau isolant destiné à une application spécifique. La variation de la résistivité en fonction de la température et de l'humidité peut être importante et doit être connue à la conception pour prévoir les conditions de fonctionnement. Des mesures de résistivité transversale sont souvent effectuées pour contrôler l'homogénéité d'un matériau isolant, et cela tant en ce qui concerne la fabrication que pour déceler les impuretés conductrices qui sont susceptibles d'affecter la qualité du matériau et ne peuvent pas être aisément repérées par d'autres moyens.

3.3 Lorsqu'une tension continue est appliquée entre des électrodes en contact avec une éprouvette, le courant qui la traverse décroît asymptotiquement vers une valeur limite en régime établi. La diminution du courant en fonction du temps peut être due à la polarisation diélectrique et au déplacement des ions mobiles vers les électrodes. Pour des matériaux ayant une résistivité transversale inférieure à environ $10^{10}\ \Omega \cdot m$ ($10^{12}\ \Omega \cdot cm$), la valeur en régime établi est en général atteinte au bout de 1 min et la résistance est alors mesurée après cette durée de mise sous tension. Pour les matériaux de plus grande résistivité transversale, le courant peut continuer à diminuer pendant plusieurs minutes, heures, jours ou même semaines. Pour de tels matériaux, par conséquent, on utilise des durées de mise sous tension plus longues, et, le cas échéant, le matériau est caractérisé par la variation de sa résistivité transversale en fonction du temps.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

2.4 *Surface resistivity*

The quotient of a d.c. electric field strength, and the linear current density in a surface layer of an insulating material. In practice it is taken as the surface resistance reduced to a square area. The size of the square is immaterial.

Note. — The SI unit of surface resistivity is the ohm. In practice this is sometimes referred to as "ohms per square".

2.5 *Electrodes*

Measuring electrodes are conductors of defined shape, size and configuration in contact with the specimen being measured.

General note. — *Insulation resistance* is the quotient of a direct voltage applied between two electrodes in contact with a specimen and the total current between the electrodes. The insulation resistance depends on both volume and surface resistivity of the specimen (see IEC Publication 167: Methods of Test for the Determination of the Insulation Resistance of Solid Insulating Materials).

3. Significance

3.1 Insulating materials are used in general to isolate components of an electrical system from each other and from earth; solid insulating materials may also provide mechanical support. For these purposes it is generally desirable to have the insulation resistance as high as possible, consistent with acceptable mechanical, chemical and heat-resisting properties. Surface resistance changes very rapidly with humidity, while volume resistance changes only slowly, although the final change may be greater.

3.2 Volume resistivity can be used as an aid in the choice of an insulating material for a specific application. The change of resistivity with temperature and humidity may be great and must be known when designing for operating conditions. Volume resistivity measurements are often used in checking the uniformity of an insulating material, either with regard to processing or to detect conductive impurities that affect the quality of the material and that may not be readily detectable by other means.

3.3 When a direct voltage is applied between electrodes in contact with a specimen, the current through it decreases asymptotically towards a steady-state value. The decrease of current with time may be due to dielectric polarization and the sweep of mobile ions to the electrodes. For materials having volume resistivities less than about $10^{10}\ \Omega \cdot m$ ($10^{12}\ \Omega \cdot cm$), the steady-state is in general reached within 1 min, and the resistance is then determined after this time of electrification. For materials of higher volume resistivity the current may continue to decrease for several minutes, hours, days, or even weeks. For such materials, therefore, longer electrification times are used, and, if relevant, the material is characterized by the time dependence of the volume resistivity.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

3.4 La résistance superficielle ou la conductance superficielle ne peuvent pas être déterminées avec précision, mais seulement de façon approximative, étant donné qu'une conductance transversale plus ou moins importante intervient presque toujours dans la mesure. La valeur mesurée caractérise essentiellement l'état de contamination de la surface de l'éprouvette au moment de la mesure. Toutefois, la permittivité de l'éprouvette influe sur le dépôt d'impuretés dont les propriétés de conduction risquent d'être modifiées par les caractéristiques superficielles de l'éprouvette. Ainsi, la résistivité superficielle n'est pas une propriété du matériau au sens habituel, mais elle peut être considérée comme étant liée aux propriétés du matériau lorsque la contamination entre en ligne de compte.

Certains matériaux, tels les isolants stratifiés, peuvent avoir des résistivités très différentes dans une couche superficielle ou à l'intérieur. Il peut donc être intéressant de mesurer les propriétés intrinsèques d'une surface propre. Les méthodes de nettoyage destinées à obtenir des résultats uniformes doivent être clairement spécifiées, tout en gardant à l'esprit les effets que les solvants ou d'autres facteurs du procédé de nettoyage peuvent avoir sur les caractéristiques de la surface.

La résistance superficielle, surtout lorsqu'elle est élevée, varie souvent de manière irrégulière et en général dépend fortement de la durée d'application de la tension; pour les mesures, on spécifie généralement une durée d'application de la tension de 1 min.

4. Alimentation

Une source de tension continue très stable est nécessaire. Cette condition peut imposer soit l'emploi de piles, soit une alimentation redressée et stabilisée. Le degré de stabilité requis est tel que la variation du courant liée aux variations de la tension reste négligeable par rapport au courant à mesurer.

Les tensions d'essai à appliquer sont généralement de 100 V, 250 V, 500 V, 1000 V, 2500 V, 5000 V, 10000 V et 15000 V. Les tensions les plus couramment utilisées sont de 100 V, 500 V et 1000 V.

Dans certains cas, la résistance de l'éprouvette dépend de la polarité de la tension appliquée.

Si la résistance dépend de la polarité, il convient de le signaler. On prend comme résultat la moyenne géométrique (moyenne arithmétique des exposants logarithmiques) des deux valeurs de la résistance.

Etant donné que la résistance de l'éprouvette peut dépendre de la tension, il convient d'indiquer la tension d'essai dans le rapport.

5. Méthodes de mesure et précision

5.1 *Méthodes*

Les méthodes couramment utilisées pour mesurer des résistances élevées sont soit des méthodes directes, soit des méthodes de comparaison.

Les méthodes directes sont fondées sur la mesure simultanée de la tension continue appliquée à la résistance inconnue et du courant qui la traverse (méthode voltmètre-ampèremètre).

Les méthodes de comparaison établissent le rapport de valeur de la résistance inconnue à celle d'une résistance connue, soit dans un montage en pont, soit par comparaison des courants traversant les résistances soumises à une même tension.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

3.4 Surface resistance or surface conductance cannot be measured accurately, only approximated, because more or less volume conductance is nearly always involved in the measurement. The measured value is largely a property of the contamination of the surface of the specimen at the time of measurement. However, the permittivity of the specimen influences the deposition of contaminants, and their conductive capabilities are affected by the surface characteristics of the specimen. Thus surface resistivity is not a material property in the usual sense, but can be considered to be related to material properties when contamination is involved.

Some materials, such as laminates, may have quite different resistivities in a surface layer and in the interior. It may therefore be of interest to measure the intrinsic property of a clean surface. Cleaning procedures aimed at producing consistent results should be fully specified bearing in mind the possible effect of solvents and other factors of the cleaning procedure on the surface characteristics.

The surface resistance, especially when high, often changes in an erratic manner, and in general depends strongly on the time of electrification; for measurements, 1 min of electrification is usually specified.

4. Power supply

A source of very steady direct voltage is required. This may be provided either by batteries or by a rectified and stabilized power supply. The degree of stability required is such that the change in current due to any change in voltage is negligible compared with the current to be measured.

Commonly specified test voltages to be applied to the complete specimen are 100 V, 250 V, 500 V, 1000 V, 2500 V, 5000 V, 10000 V and 15000 V. Of these the most frequently used are 100 V, 500 V and 1000 V.

In some cases, the specimen resistance depends upon the polarity of the applied voltage.

If the resistance is polarity dependent, this should be indicated. The geometric (arithmetic mean of the logarithmic exponents) mean of the two resistance values is taken as the result.

Since the specimen resistance may be voltage dependent, the test voltage should be stated.

5. Measuring methods and accuracy

5.1 *Methods*

The methods commonly in use for measuring high resistances are either direct methods or comparison methods.

The direct methods depend upon simultaneous measurement of the direct voltage applied to the unknown resistance and the current through it (voltmeter-ammeter method).

The comparison methods establish the ratio of the unknown resistance to the resistance of a known resistor, either in a bridge circuit, or by comparison of currents through the resistances at fixed voltage.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Des exemples illustrant ces principes sont décrits à l'annexe A.

La méthode voltmètre-ampèremètre nécessite l'emploi d'un voltmètre raisonnablement précis, mais la sensibilité et la précision de la méthode dépendent principalement des caractéristiques du dispositif de mesure du courant qui peut être un galvanomètre, un amplificateur électronique ou un électromètre.

La méthode du pont nécessite uniquement l'emploi d'un détecteur de courant sensible en tant qu'indicateur de zéro. La précision de la mesure est principalement déterminée par celle des résistances connues constituant les branches du pont, qui peuvent être obtenues avec une grande précision et une bonne stabilité dans une large gamme de valeurs.

La précision de la méthode de comparaison du courant dépend de la précision de la résistance connue et de la stabilité et de la linéarité du dispositif de mesure du courant, y compris celles des résistances de mesure associées, etc., tandis que la connaissance des valeurs exactes du courant n'est pas nécessaire tant que la tension est constante.

La détermination de la résistivité transversale par la méthode voltmètre-ampèremètre au moyen d'un galvanomètre, conformément au paragraphe 10.1, est possible pour des résistances inférieures ou égales à environ 10^{11} Ω. Pour des valeurs supérieures, l'emploi d'un amplificateur à courant continu ou d'un électromètre est recommandé.

Dans la méthode du pont, il n'est pas possible de mesurer directement le courant dans l'éprouvette court-circuitée (voir paragraphe 10.1).

Les méthodes utilisant les dispositifs de mesure du courant permettent un enregistrement automatique du courant facilitant la détermination du régime permanent (paragraphe 10.1).

Il existe des circuits et appareils spéciaux destinés à mesurer les résistances élevées. Ceux-ci peuvent être utilisés à condition qu'ils soient suffisamment précis et stables et qu'il soit possible, si nécessaire, de court-circuiter convenablement l'éprouvette et de mesurer le courant avant la mise sous tension de l'éprouvette.

5.2 *Précision*

Le dispositif de mesure doit permettre de déterminer la résistance inconnue avec une précision totale d'au moins ±10% pour des résistances inférieures à 10^{10} Ω et ±20% pour des valeurs supérieures (voir également annexe A).

5.3 *Dispositifs de garde*

L'isolement du circuit de mesure repose sur des matériaux dont les propriétés sont, dans les cas favorables, comparables à celles du matériau essayé. Des erreurs dans la mesure d'une éprouvette peuvent provenir:

a) des courants de fuite dus aux tensions parasites dont on ne connaît généralement pas la valeur et qui sont souvent de nature erratique;

b) des shuntages indésirables de la résistance de l'éprouvette, des résistances de référence ou du dispositif de mesure du courant par des isolements dont la résistance n'est ni connue ni stable.

On peut remédier à ces difficultés en rendant la résistance d'isolement de l'ensemble du circuit aussi élevée que possible. Cela peut conduire à la réalisation de montages d'emploi délicat et qui ne sont pas pour autant aptes à la mesure de résistances supérieures à quelques centaines de mégohms. Un remède plus satisfaisant est obtenu en faisant usage de méthodes mettant en œuvre un dispositif de garde.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Examples illustrating the principles are described in Appendix A.

The voltmeter-ammeter method requires a reasonably accurate voltmeter, but the sensitivity and accuracy of the method depend mainly on the properties of the current measuring device, which may be a galvanometer, an electronic amplifier instrument, or an electrometer.

The bridge method requires only a sensitive current detector as null indicator, and the accuracy is mainly determined by the known bridge arm resistors, which are obtainable with high precision and stability over a wide range of resistance values.

The accuracy of the current comparison method depends on the accuracy of the known resistor, and on the stability and linearity of the current measuring device, including associated measuring resistors, etc., whereas the exact values of current are insignificant, as long as the voltage is constant.

Determination of volume resistivity in accordance with Sub-clause 10.1 using a galvanometer in the voltmeter-ammeter method is feasible for resistances up to about 10^{11} Ω. For higher values, the use of a d.c. amplifier or electrometer is recommended.

In the bridge method, it is not possible to measure the current directly in the short-circuited specimen (see Sub-clause 10.1).

The methods utilizing current measuring devices permit automatic recording of the current to facilitate determination of the steady state (Sub-clause 10.1).

Special circuits and instruments for measuring high resistance are available. These may be used, provided that they are sufficiently accurate and stable, and that, where needed, they enable the specimen to be properly short-circuited, and the current measured before electrification.

5.2 *Accuracy*

The measuring device should be capable of determining the unknown resistance with an overall accuracy of at least ±10% for resistances below 10^{10} Ω, and ±20% for higher values. See also Appendix A.

5.3 *Guarding*

The insulation of the measuring circuit is composed of materials which, at best, have properties comparable with those of the material under test. Errors in the measurement of the specimen may arise from:

a) stray current from spurious external voltages which are usually unknown in magnitude and often sporadic in character;
b) undue shunting of the specimen resistance, reference resistors, or the current measuring device by insulation, having resistance of unknown, and possibly variable magnitude.

An approximate correction of these difficulties may be obtained by making the insulation resistance of all parts of the circuit as high as possible under the conditions of use. This may lead to unwieldy apparatus which is still inadequate for measurement of insulation resistances higher than a few hundred megohms. A more satisfactory correction is obtained by using the technique of guarding.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

La réalisation d'un dispositif de garde consiste à interposer sur tous les trajets isolants qui pourraient se montrer critiques à cet égard des conducteurs de garde qui interceptent tous les courants de fuite susceptibles de fausser la mesure. Ces électrodes de garde, toutes reliées ensemble, constituent le dispositif de garde et forment avec les électrodes de mesure un réseau à trois bornes. Quand les connexions sont établies de façon correcte, tous les courants de fuite indésirables sont dérivés par le dispositif de garde en dehors du circuit de mesure, la résistance d'isolement entre l'une des bornes de mesure et le dispositif de garde shunte un élément du circuit qui doit être de résistance bien plus faible, et la résistance de l'éprouvette constitue le seul chemin direct entre les bornes de mesure. Cette technique réduit considérablement les risques d'erreur. La figure 1, page 36, montre les branchements types des électrodes gardées utilisées pour les mesures de la résistance transversale et de la résistance superficielle.

L'emploi correct d'un dispositif de garde dans la méthode mettant en jeu la mesure d'un courant est illustré par les figures 5 et 7, pages 39 et 40, qui montrent ce dispositif relié au point de jonction de la source de tension et du dispositif de mesure du courant. Dans la figure 6, page 40, relative à la méthode du pont de Wheatstone, le dispositif de garde est relié au point de jonction des deux bras résistants de plus faible valeur. Dans tous les cas, pour être efficace, la protection doit être complète et s'étendre à tous les dispositifs manipulés par l'opérateur lors de l'exécution des mesures.

Les forces électromotrices (électrolytique, de contact ou thermique) existant entre les systèmes de garde et les bornes «gardées» peuvent être compensées si elles sont petites. Il faut prendre soin que ces forces électromotrices ne soient pas à l'origine d'erreurs appréciables dans les mesures.

Des erreurs sur la valeur du courant peuvent résulter du fait que le dispositif de mesure est shunté par la résistance entre l'électrode gardée et le dispositif de garde. Une telle résistance devrait être au moins 10 fois et de préférence 100 fois supérieure à celle du dispositif de mesure du courant. Dans certaines méthodes utilisant un pont, la garde et l'électrode de mesure sont portées à des potentiels voisins, mais une des résistances de référence du pont est shuntée par celle comprise entre l'électrode non gardée et le dispositif de garde. Cette dernière résistance devrait être au moins 10 fois et de préférence 100 fois supérieure à la résistance de référence.

Afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement de mesure, il y a lieu d'effectuer un essai en ouvrant la connexion liant l'éprouvette à la source de tension. L'indication devrait alors correspondre à une résistance infinie (dans les limites permises par la sensibilité). Si l'on dispose de résistances calibrées convenables, elles peuvent servir à contrôler le fonctionnement du dispositif de mesure.

6. **Eprouvettes**

6.1 *Résistivité transversale*

L'éprouvette peut avoir une forme quelconque pour autant qu'elle permette l'emploi d'une troisième électrode de garde destinée à s'affranchir des causes d'erreurs dues aux effets superficiels. Pour les éprouvettes où les courants de surface sont négligeables, la garde peut être supprimée lors de la mesure de la résistance transversale, à condition qu'il soit démontré que sa suppression a un effet négligeable sur le résultat.

L'intervalle à la surface de l'éprouvette entre les électrodes «gardées» et les électrodes de garde devrait être de largeur uniforme et aussi étroit que possible, à condition que les courants de fuite à la surface ne provoquent pas d'erreur dans la mesure. Un intervalle de 1 mm est généralement le plus petit intervalle possible.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Guarding depends on interposing, in all critical insulated parts, guard conductors which intercept all stray currents that might otherwise cause errors. The guard conductors are connected together, constituting the guard system and forming with the measuring terminals a three terminal network. When suitable connections are made, stray currents from spurious external voltages are shunted away from the measuring circuit by the guard system, the insulation resistance from either measuring terminal to the guard system shunts a circuit element which should be of very much lower resistance, and the specimen resistance constitutes the only direct path between the measuring terminals. By this technique the probability of error is considerably reduced. Figure 1, page 36, shows the basic connections for guarded electrodes used for volume resistance and surface resistance measurements.

Proper use of the guard system for the method involving current measurement is illustrated in Figures 5 and 7, pages 39 and 40, where the guard system is shown connected to the junction of the voltage source and current-measuring device. In Figure 6, page 40, for the Wheatstone bridge method, the guard system is shown connected to the junction of the two lower-valued resistance arms. In all cases, to be effective, guarding shall be complete, and shall include any control operated by the observer in making the measurement.

Electrolytic, contact, or thermal e.m.f.'s. existing between guard and guarded terminals can be compensated if they are small. Care must be taken that such e.m.f.'s do not introduce appreciable errors in the measurements.

Errors in current measurements may result from the fact that the current-measuring device is shunted by the resistance between the guarded terminal and the guard system. This resistance should be at least 10 and preferably 100 times that of the current-measuring device. In some bridge techniques, the guard and measuring terminal are brought to nearly the same potential but a standard resistor in the bridge is shunted by the resistance between the unguarded terminal and the guard system. This resistance should be at least 10 and preferably 100 times that of the reference resistor.

To ensure satisfactory operation of the equipment, a measurement should be made with the lead from the voltage source to the specimen disconnected. Under this condition, the equipment should indicate infinite resistance within its sensitivity. If suitable standards of known values are available, they may be used to test the operation of the equipment.

6. Test specimens

6.1 *Volume resistivity*

For the determination of volume resistivity the test specimen may have any practicable form that allows the use of a third electrode to guard against error from surface effect. For specimens that have negligible surface leakage, the guard may be omitted when measuring volume resistance, provided that it has been shown that its omission has negligible effect on the result.

The gap on the surface of the specimen between the guarded and guard electrodes should be of uniform width and as narrow as possible provided that the surface leakage does not cause error in the measurement. A gap of 1 mm is usually the smallest practicable.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Des exemples de disposition d'électrodes pour un système à trois électrodes sont donnés aux figures 2 et 3, pages 37 et 38. Pour la mesure de la résistance transversale, l'électrode n° 1 est l'électrode «gardée», l'électrode n° 2 est la garde (anneau de garde) et l'électrode n° 3 est l'électrode non gardée. Le diamètre d_1 (figure 2) ou la longueur l_1 (figure 3) de l'électrode gardée devraient valoir au moins dix fois l'épaisseur h de l'éprouvette et, pour des raisons de commodité, être généralement au moins égaux à 25 mm. Le diamètre d_4 (ou longueur l_4) de l'électrode non gardée et le diamètre extérieur d_3 de l'électrode de garde (ou longueur l_3 entre les bords extérieurs des électrodes de garde) devraient être égaux au diamètre intérieur d_2 de l'électrode de garde (ou à la longueur l_2 entre les bords intérieurs des électrodes de garde) plus deux fois au moins l'épaisseur de l'éprouvette.

6.2 *Résistivité superficielle*

Pour la détermination de la résistivité superficielle, l'éprouvette peut avoir une forme quelconque permettant l'emploi d'une troisième électrode de garde pour s'affranchir des erreurs pouvant résulter des effets transversaux. Les dispositifs à trois électrodes représentés aux figures 2 et 3 sont recommandés. La résistance de l'intervalle superficiel entre les électrodes n°s 1 et 2 est mesurée en utilisant l'électrode n° 1 comme électrode gardée, l'électrode n° 3 comme garde et l'électrode n° 2 comme électrode non gardée. La résistance ainsi mesurée comprend la résistance superficielle entre les électrodes n°s 1 et 2 et aussi la résistance transversale entre ces mêmes électrodes. Toutefois, en choisissant convenablement les dimensions des électrodes, l'effet de cette résistance transversale peut être rendu négligeable pour de larges plages des conditions d'ambiance et des propriétés des matériaux. Cette condition peut être réalisée avec la disposition des figures 2 et 3 si l'on donne à l'intervalle g une valeur au moins double de l'épaisseur de l'éprouvette; 1 mm est normalement le plus petit intervalle possible. Le diamètre d_1 (ou longueur l_1) de l'électrode gardée devrait valoir au moins dix fois l'épaisseur h de l'éprouvette et, pour des raisons de commodité, être généralement au moins égal à 25 mm.

On peut utiliser, en variante, des électrodes rectilignes ou d'autres dispositions possédant des dimensions appropriées.

Note. — Par suite de l'influence du courant qui passe à l'intérieur de l'éprouvette, la valeur calculée de la résistivité superficielle peut varier fortement avec les dimensions de l'éprouvette et des électrodes. Pour des mesures comparatives, il est donc recommandé d'utiliser des éprouvettes de forme identique avec des électrodes disposées selon la figure 2 avec $d_1 = 50$ mm, $d_2 = 60$ mm et $d_3 = 80$ mm.

7. Nature des électrodes

7.1 *Généralités*

Les électrodes à utiliser sur les matériaux isolants doivent être constituées d'un matériau facile à appliquer sur les éprouvettes, qui assure un contact intime avec la surface de celles-ci, qui ne contamine pas l'éprouvette et dont la résistance propre n'introduit pas d'erreur. Ce matériau doit également résister à la corrosion dans les conditions de l'essai. Les matériaux indiqués ci-après peuvent être utilisés. Les électrodes doivent être munies de contre-électrodes de forme et de dimensions appropriées.

Il peut être préférable d'utiliser deux matériaux différents pour les électrodes ou deux méthodes d'application pour voir si une erreur appréciable est introduite.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Examples of electrode arrangements with three electrodes are shown in Figures 2 and 3, pages 37 and 38. In the measurement of volume resistance, electrode No. 1 is the guarded electrode, No. 2 is the guard electrode, and No. 3 is the unguarded electrode. The diameter d_1 (Figure 2), or length l_1 (Figure 3) of the guarded electrode should be at least ten times the specimen thickness h and for practical reasons usually at least 25 mm. The diameter d_4 (or length l_4) of the unguarded electrode, and the outer diameter d_3 of the guard electrode (or length l_3 between the outer edges of the guard electrodes) should be equal to the inner diameter d_2 of the guard electrode (or length l_2 between the inner edges of the guard electrodes) plus at least twice the specimen thickness.

6.2 *Surface resistivity*

For the determination of surface resistivity the test specimen may have any practicable form that allows the use of a third electrode to guard against error from volume effects. The three electrode arrangements of Figures 2 and 3 are recommended. The resistance of the surface gap between electrodes Nos. 1 and 2 is measured directly by using electrode No. 1 as the guarded electrode, electrode No. 3 as the guard electrode and electrode No. 2 as the unguarded electrode. The resistance so measured includes the surface resistance between electrodes Nos. 1 and 2 and the volume resistance between the same two electrodes. With suitable dimensioning of the electrodes, however, the effect of the volume resistance can be made negligible for wide ranges of ambient conditions and material properties. This condition may be achieved for the arrangement of Figures 2 and 3 when the electrodes are dimensioned so that the surface gap width g is at least twice the specimen thickness; 1 mm is normally the smallest practicable. The diameter d_1 (or length l_1) of the guarded electrode should be at least ten times the specimen thickness h, and for practical reasons usually at least 25 mm.

Alternatively, straight electrodes or other arrangements with suitable dimensions may be used.

Note. — Due to the influence of current through the interior of the test specimen the calculated value of surface resistivity may depend strongly on the specimen and electrode dimensions. For comparative determinations it is therefore recommended to use specimens of identical form with the electrode arrangement of Figure 2 with $d_1 = 50$ mm, $d_2 = 60$ mm, and $d_3 = 80$ mm.

7. Electrode material

7.1 *General*

The electrodes for insulating materials should be of a material that is readily applied, allows intimate contact with the specimen surface and introduces no appreciable error because of electrode resistance or contamination of the specimen. The electrode material should be corrosion resistant under the conditions of the test. The following are typical electrode materials that may be used. The electrodes shall be used with suitable backing plates of the given form and dimensions.

It may be advantageous to use two different electrode materials or two methods of application to see if appreciable error is introduced.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

7.2 *Peintures conductrices à l'argent*

Certains types de peintures à l'argent, à haute conductivité, disponibles dans le commerce et qui sèchent soit à l'air, soit à faible température, sont suffisamment poreuses pour être perméables à l'humidité; de ce fait, elles permettent, après application des électrodes, de conditionner les éprouvettes. C'est une caractéristique particulièrement utile pour l'étude des effets de l'humidité, ainsi que de la température sur la résistance. Toutefois, avant d'utiliser une peinture conductrice comme électrode, il convient de vérifier que le solvant qu'elle contient n'affecte pas les propriétés électriques de l'éprouvette. Il est possible d'obtenir pour les électrodes de garde des bords raisonnablement réguliers à l'aide d'une brosse à poils fins. Toutefois, pour des électrodes circulaires, on peut obtenir des bords plus nets en utilisant un compas pour dessiner les contours des électrodes et en recouvrant les zones ainsi définies à l'aide d'un pinceau. Des masques peuvent être utilisés si la peinture des électrodes est appliquée par pulvérisation.

7.3 *Métal appliqué par pulvérisation*

On peut utiliser des électrodes métalliques appliquées par pulvérisation si l'on obtient une adhérence suffisante à l'échantillon. Les électrodes minces appliquées par pulvérisation peuvent présenter certains avantages; en effet, elles sont prêtes à être employées dès l'application et peuvent être suffisamment poreuses pour permettre de conditionner l'éprouvette, mais il y a lieu de vérifier cette dernière propriété. Des masques peuvent être utilisés pour réserver un intervalle entre l'électrode gardée et l'électrode de garde.

7.4 *Métal évaporé*

Du métal évaporé peut être utilisé dans les mêmes conditions que celles indiquées au paragraphe 7.3 lorsqu'il peut être démontré que le matériau n'est pas affecté par le bombardement des ions ou par la mise sous vide.

7.5 *Electrodes liquides*

Des électrodes liquides peuvent être utilisées et donnent des résultats satisfaisants. Le liquide formant les électrodes supérieures doit être maintenu par des anneaux en acier inoxydable dont chacun doit avoir son bord inférieur taillé en biseau du côté opposé au liquide. La figure 4, page 39, montre la disposition des électrodes. Le mercure, en raison de ses effets toxiques, n'est pas recommandé pour un emploi prolongé ou à des températures élevées.

7.6 *Graphite colloïdal*

Le graphite colloïdal dissous dans l'eau ou dans un autre liquide approprié peut être utilisé dans les mêmes conditions que celles indiquées au paragraphe 7.2.

7.7 *Caoutchouc conducteur*

Le caoutchouc conducteur peut être utilisé comme matériau d'électrode. Il offre l'avantage de pouvoir être appliqué et retiré de l'échantillon rapidement et facilement. Etant donné que les électrodes ne sont appliquées que pendant le temps de la mesure, elles ne gênent pas le conditionnement de l'éprouvette. Le caoutchouc conducteur doit être suffisamment souple pour assurer un contact efficace avec l'éprouvette lorsqu'une pression raisonnable est appliquée, par exemple 2 kPa (0,2 N/cm^2).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

7.2 *Conductive silver paint*

Certain types of commercially available, high-conductivity silver paints, either air-drying or low-temperature-baking varieties are sufficiently porous to permit diffusion of moisture through them and thereby allow the test specimens to be conditioned after application of the electrodes. This is a particularly useful feature in studying resistance-humidity effects as well as changes with temperature. However, before conductive paint is used as an electrode material, it should be established that the solvent in the paint does not affect the electrical properties of the specimen. Reasonably smooth edges of guard electrodes may be obtained with a fine-bristle brush. However, for circular electrodes, sharper edges may be obtained by the use of a compass for drawing the outline circles of the electrodes and filling in the enclosed areas by brush. Clamp-on masks may be used if the electrode paint is sprayed on.

7.3 *Sprayed metal*

Sprayed metal may be used if satisfactory adhesion to the test specimen can be obtained. Thin sprayed electrodes may have certain advantages in that they are ready for use as soon as applied. They may be sufficiently porous to allow the specimen to be conditioned, but this should be verified. Clamp-on masks may be used to produce a gap between the guarded electrode and the guard electrode.

7.4 *Evaporated or sputtered metal*

Evaporated or sputtered metal may be used under the same conditions as given in Sub-clause 7.3 where it can be shown that the material is not affected by ion bombardment or vacuum treatment.

7.5 *Liquid electrodes*

Liquid electrodes may be used and give satisfactory results. The liquid forming the upper electrode should be confined, for example, by stainless steel rings, each of which should have its lower rim reduced to a sharp edge by bevelling on the side away from the liquid. Figure 4, page 39, shows the electrode arrangement. Mercury is not recommended for continuous use or at elevated temperatures due to toxic effects.

7.6 *Colloidal graphite*

Colloidal graphite dispersed in water or other suitable medium, may be used under the same conditions as given in Sub-clause 7.2.

7.7 *Conducting rubber*

Conducting rubber may be used as an electrode material. It has the advantage that it can be applied and removed from the specimen quickly and easily. As the electrodes are applied only during the time of measurement they do not interfere with the conditioning of the specimen. The conducting rubber material shall be soft enough to ensure that effective contact to the specimen is obtained when a reasonable pressure, for example 2 kPa (0.2 N/cm^2), is applied.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

7.8 *Feuille de métal*

Des feuilles de métal appliquées sur les surfaces de l'éprouvette peuvent être utilisées comme électrodes pour la mesure de la résistance transversale, mais elles ne conviennent pas pour la mesure de la résistance superficielle. Le plomb, le plomb à l'antimoine, l'aluminium et le papier d'étain sont d'usage courant. On les fait généralement adhérer à l'éprouvette à l'aide d'une faible quantité d'un adhésif constitué par de la graisse de pétrole ou de silicone, de l'huile ou une autre matière appropriée. Une gelée pouvant être préparée en pharmacie et ayant la composition suivante peut être utilisée comme adhésif conducteur:

Polyéthylène glycol anhydre de masse moléculaire 600	800 parties en masse
Eau	200 parties en masse
Savon doux (qualité pharmaceutique)	1 partie en masse
Chlorure de potassium	10 parties en masse

Les électrodes doivent être appliquées en exerçant sur elles une pression suffisante pour éliminer tous les plis et pour chasser l'excès d'adhésif vers le bord de la feuille où il peut être essuyé à l'aide d'un chiffon. Le frottement avec un objet mou tel que le doigt est utilisé avec succès. Cette technique peut donner de bons résultats uniquement sur les éprouvettes de surfaces très lisses. En prenant des précautions, le film adhésif peut être réduit à 0,0025 mm ou moins.

8. Mise en place des électrodes et de l'éprouvette

Il est important qu'aucun courant de fuite entre les électrodes ou entre les électrodes de mesure et la terre n'ait d'influence sensible sur l'indication donnée par l'instrument de mesure. L'application des électrodes sur les éprouvettes, la manipulation et la mise en place de celles-ci pour les essais doivent être effectuées avec le plus grand soin, afin d'éviter toute possibilité de créer des courants de fuite susceptibles d'influencer les résultats des mesures.

Pour la mesure de la résistance superficielle, la surface ne doit pas être nettoyée, sauf accord ou spécification. La partie de la surface à mesurer ne doit être touchée par aucun corps autre que la surface vierge d'une autre éprouvette du même matériau.

9. Conditionnement

Le conditionnement à faire subir à une éprouvette dépend du matériau à essayer et doit être indiqué dans les spécifications relatives aux matériaux.

Des conditions recommandées sont données dans la Publication 212 de la CEI: Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides, et les humidités relatives associées à diverses solutions salines sont données dans la Publication 260 de la CEI: Enceintes d'épreuve à humidité relative constante fonctionnant sans injection de vapeur. Des procédés mécaniques de vaporisation peuvent être utilisés.

La résistivité transversale et la résistivité superficielle sont toutes deux fort sensibles aux variations de température. L'allure de la variation est exponentielle. De ce fait, il est nécessaire de mesurer la résistance transversale et la résistance superficielle d'une éprouvette quand celle-ci est soumise à des conditions spécifiées. Des périodes prolongées de conditionnement sont nécessaires pour déterminer l'effet de l'humidité sur la résistivité transversale, car l'absorption d'eau par un corps diélectrique est un phénomène relativement lent; ordinairement, l'absorption d'eau réduit la résistance transversale. Certaines éprouvettes peuvent mettre des mois à atteindre l'équilibre.

10. Méthode d'essai

Le nombre d'éprouvettes prescrites dans la spécification relative au matériau essayé est préparé conformément aux articles 6, 7, 8 et 9.

Les dimensions des éprouvettes et des électrodes ainsi que la largeur de l'intervalle g sur la surface sont mesurées avec une précision de $\pm 1\%$. Toutefois, pour les éprouvettes minces, on peut prescrire, s'il y a lieu, une autre précision dans la spécification relative au matériau essayé.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

7.8 *Metal foil*

Metal foil may be applied to specimen surfaces as electrodes for volume resistance measurement, but it is not suitable for surface resistance measurement. Lead, antimonial lead, aluminium, and tin foil are in common use. They are usually attached to the specimen by a minimum quantity of petrolatum, silicone grease, oil or other suitable material, as an adhesive. A pharmaceutically obtainable jelly of the following composition is suitable as a conductive adhesive:

Anhydrous polyethylene glycol of molecular mass 600	800 parts by mass
Water	200 parts by mass
Soft soap (pharmaceutical quality)	1 part by mass
Potassium chloride	10 parts by mass

The electrodes shall be applied under a smoothing pressure sufficient to eliminate all wrinkles and to work excess adhesive towards the edge of the foil where it can be wiped off with a cleansing tissue. Rubbing with a soft material such as the finger, has been used successfully. This technique can be used satisfactorily only on specimens that have very smooth surfaces. With care, the adhesive film can be reduced to 0.0025 mm or less.

8. Specimen handling and mounting

It is important that stray currents between the electrodes or between the measuring electrodes and earth do not have a significant effect on the reading of the measuring instrument. Great care shall be used in applying the electrodes, in handling the specimens, and in mounting the specimens for measurement to avoid the possibility of creating stray paths that may adversely affect the result of the measurement.

When surface resistance is to be measured, the surface shall not be cleaned unless agreed or specified. That part of the surface which is to be measured shall not be touched by anything other than an untouched surface of another specimen of the same material.

9. Conditioning

The conditioning that a specimen should receive depends upon the material being tested and should be specified in the material specification.

Recommended conditions are given in IEC Publication 212: Standard Conditions for Use Prior to and during the Testing of Solid Electrical Insulating Materials, and the relative humidities associated with various salt solutions are given in IEC Publication 260: Test Enclosures of Non-injection Type for Constant Relative Humidity. Mechanical vaporization systems may be used.

Both volume resistivity and surface resistivity are particularly sensitive to temperature changes. The change is exponential. It is therefore necessary to measure the volume resistance and surface resistance of the specimen while under specified conditions. Extended periods of conditioning are required to determine the effect of humidity on volume resistivity since the absorption of water into the body of the dielectric is a relatively slow process. Water absorption usually decreases volume resistance. Some specimens may require months to reach equilibrium.

10. Test procedure

A number of specimens as prescribed in the relevant specification are prepared in accordance with Clauses 6, 7, 8 and 9.

The specimen and electrode dimensions, and the width of the surface gap g are measured with an accuracy of $\pm 1\%$. For thin specimens, however, a different accuracy may be stated in the relevant specification, when appropriate.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Pour déterminer la résistivité transversale, on mesure l'épaisseur moyenne de chaque éprouvette conformément à la spécification correspondante. Les points de mesure sont répartis uniformément sur la surface qui comprend l'électrode de garde.

Note. — Pour les éprouvettes minces au moins, l'épaisseur doit être mesurée avant l'application des électrodes.

En général, les mesures de résistance doivent être faites dans les conditions de température et d'humidité (à l'exception du conditionnement par immersion dans un liquide) utilisées pour le conditionnement. Toutefois, dans certains cas, il suffit de faire les mesures dans le temps prescrit après l'arrêt du conditionnement.

10.1 *Résistance transversale*

Avant d'effectuer la mesure, l'éprouvette doit être amenée à un état diélectriquement stable. A cette fin, mettre en court-circuit les électrodes de mesure n°s 1 et 3 de l'éprouvette (figure 1a) à travers le dispositif de mesure et observer les variations du courant de court-circuit, en augmentant si nécessaire la sensibilité du dispositif de mesure du courant. Continuer jusqu'à ce que le courant de court-circuit atteigne une valeur pratiquement constante, petite par rapport à la valeur en régime établi présumée du courant sous tension ou, le cas échéant, du courant après une durée de mise sous tension de 100 min. Etant donné qu'il existe une possibilité d'inversion du sens du courant de court-circuit, le court-circuit doit être maintenu même si le courant est nul. La valeur et le sens du courant de court-circuit I_0 sont notés lorsqu'ils sont pratiquement stables, ce qui peut demander plusieurs heures.

Appliquer ensuite la tension continue spécifiée et mettre simultanément en marche une minuterie. Sauf spécification contraire, faire une mesure après chacune des durées de mise sous tension suivantes: 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 50 min, 100 min. Si deux lectures successives sont identiques, l'essai peut être arrêté et le courant ainsi trouvé utilisé pour calculer la résistance transversale. La durée de mise sous tension au bout de laquelle on observe la première d'une série de mesures identiques est notée. Si le régime établi n'est pas atteint au bout de 100 min, la résistance transversale doit être considérée comme une fonction de la durée de mise sous tension.

Pour des essais de réception, la valeur mesurée après une durée fixe de mise sous tension prescrite dans la spécification correspondante, par exemple 1 min, est déterminante.

10.2 *Résistance superficielle*

Appliquer la tension continue spécifiée et déterminer la résistance entre les électrodes de mesure sur la surface de l'éprouvette (n°s 1 et 2, figure 1b). La résistance doit être déterminée après une durée d'application de la tension de 1 min, même si le courant n'a pas atteint un régime établi au bout de cette période.

11. Calcul

11.1 *Résistivité transversale*

La résistivité transversale se calcule d'après la formule suivante:

$$\rho = R_x \cdot A/h$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

For the determination of volume resistivity, the average thickness of each specimen is determined in accordance with the relevant specification, the measuring points being distributed uniformly over the area to be covered by the guarded measuring electrode.

Note. — For thin specimens, at least, the thickness should be measured before applying the electrodes.

In general, the resistance measurements should be made at the same humidity (except for conditioning by immersion in a liquid) and temperature as used during conditioning. In some cases however it may be sufficient to make the measurements within a specified time after stopping the conditioning.

10.1 *Volume resistance*

Before measurement the specimen shall be brought into a dielectrically stable condition. To obtain this, short-circuit the measuring electrodes Nos. 1 and 3 of the specimen, (Figure 1a) through the measuring device and observe the changing short-circuit current, while increasing the sensitivity of the current-measuring device as required. Continue until the short-circuit current attains a fairly constant value, small compared with the expected steady-state value of the current under electrification, or if relevant, the current at 100 min of electrification. As there is a possibility of a change in the direction of the short-circuit current, the short circuit should be maintained even if the current passes zero. The magnitude and direction of the short-circuit current I_0 are noted when it becomes essentially constant, which may require several hours.

Then apply the specified direct voltage and start a timing device simultaneously. Unless otherwise specified, make a measurement after each of the following times of electrification: 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 50 min, 100 min. If two successive measurements give the same results, the test may be terminated, and the value thus found used to calculate the volume resistance. The electrification time until the first of the identical measurements is recorded. If the steady state is not reached within 100 min, the volume resistance is reported as a function of electrification time.

For acceptance tests, the value after a fixed time of electrification, for example 1 min, is used, as specified in the relevant specification.

10.2 *Surface resistance*

Apply the specified direct voltage, and determine the resistance between the measuring electrodes on the specimen surface (Nos. 1 and 2, Figure 1b). The resistance shall be determined after 1 min of electrification, even though the current has not necessarily reached a steady-state value within this time.

11. Calculation

11.1 *Volume resistivity*

The volume resistivity shall be calculated from the following formula:

$$\rho = R_x \cdot A/h$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

où:

ρ est la résistivité transversale en ohms-mètres (ohms-centimètres)

R_x est la résistance transversale en ohms mesurée comme indiqué au paragraphe 10.1

A est la surface efficace de l'électrode gardée en mètres carrés (centimètres carrés)

h est l'épaisseur moyenne de l'éprouvette en mètres (centimètres)

Les formules pour calculer la surface efficace A pour certaines dispositions d'électrodes sont données à l'annexe B.

Pour certains matériaux possédant une forte résistivité, le courant de court-circuit I_0 avant la mise sous tension (voir paragraphe 10.1) peut n'être pas négligeable par rapport au courant permanent I_s pendant la mise sous tension. Dans de tels cas, la résistance transversale est déterminée comme étant

$$R_x = U_x/(I_s \pm I_0)$$

où:

R_x est la résistance transversale en ohms

U_x est la tension appliquée en volts

I_s est le courant permanent en ampères pendant la mise sous tension, ou les valeurs du courant en ampères après 1 min, 10 min et 100 min si le courant varie en cours de mise sous tension

I_0 est le courant de court-circuit en ampères avant la mise sous tension

Le signe moins est utilisé lorsque I_0 est dans le même sens que I_s, sinon on utilise le signe plus.

11.2 *Résistivité superficielle*

La résistivité superficielle se calcule d'après la formule suivante:

$$\sigma = R_x \cdot p/g$$

où:

σ est la résistivité superficielle en ohms

R_x est la résistance superficielle en ohms mesurée comme indiqué au paragraphe 10.2

p est le périmètre en mètres (centimètres) de l'électrode gardée dépendant de la disposition utilisée

g est l'intervalle en mètres (centimètres) entre les électrodes

11.3 *Reproductibilité*

La résistance d'une éprouvette donnée pouvant varier de façon très appréciable selon les conditions d'essai et d'une éprouvette à l'autre en raison de la non-homogénéité des matériaux, les résultats ne se recoupent en général pas à mieux de 10% et sont souvent bien plus dispersés (des valeurs s'échelonnant dans le rapport de 10 à 1 peuvent être observées dans des conditions apparemment identiques).

Pour que les mesures sur des éprouvettes identiques puissent être comparées, elles doivent être effectuées avec des gradients de potentiel approximativement égaux.

12. **Rapport**

Le rapport doit inclure au moins les renseignements suivants:

a) description et identification du matériau (nom, qualité, couleur, fabricant, etc.);

b) forme et dimensions de l'éprouvette;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

where:

ρ is the volume resistivity in ohms metres (ohms centimetres)

R_x is the volume resistance in ohms measured as specified in Sub-clause 10.1

A is the effective area of the guarded electrode in square metres (square centimetres)

h is the average thickness of the specimen in metres (centimetres)

Formulae for calculating the effective area A for some particular electrode arrangements are given in Appendix B.

For some materials with high resistivity, the short-circuit current I_0 prior to electrification (see Sub-clause 10.1) may not be negligible compared with the steady-state current I_s during electrification. In such cases the volume resistance is determined as

$$R_x = U_x/(I_s \pm I_0)$$

where:

R_x is the volume resistance in ohms

U_x is the applied voltage in volts

I_s is the steady-state current in amperes during electrification, or the values of current in amperes after 1 min, 10 min and 100 min if the current changes during electrification

I_0 is the short-circuit current in amperes prior to electrification

The minus sign is used when I_0 is in the same direction as I_s, otherwise the plus sign is used.

11.2 *Surface resistivity*

The surface resistivity shall be calculated from the following formula:

$$\sigma = R_x \cdot p/g$$

where:

σ is the surface resistivity in ohms

R_x is the surface resistance in ohms measured as specified in Sub-clause 10.2

p is the effective perimeter in metres (centimetres) of the guarded electrode for the particular electrode arrangement employed

g is the distance in metres (centimetres) between the electrodes

11.3 *Reproducibility*

Because of the variability of the resistance of a given specimen with test conditions, and because of non-uniformity of the material from specimen to specimen, determinations are usually not reproducible to closer than $\pm 10\%$ and are often even more widely divergent (a range of values of 10 to 1 may be obtained under apparently identical conditions).

In order that measurements on similar specimens are to be comparable, they must be made with approximately equal voltage gradients.

12. **Report**

The report shall include at least the following information:

a) description and identification of the material (name, grade, colour, manufacturer, etc.);

b) shape and dimensions of the specimen;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

c) type, matériau et dimensions des électrodes et des gardes;

d) conditionnement de l'éprouvette (nettoyage, préséchage, durée de conditionnement, humidité et température, etc.);

e) conditions d'essai (température de l'éprouvette, humidité relative);

f) méthode de mesure;

g) tension appliquée;

h) résistivité transversale (si applicable);

Notes 1. — Lorsqu'une durée fixe de mise sous tension est prescrite, noter cette durée et indiquer les résultats individuels et la valeur centrale en tant que résistivité transversale.

2. — Lorsque les mesures sont faites après différentes durées de mise sous tension, établir le rapport comme suit: Lorsque les éprouvettes atteignent un régime établi pour une même durée de mise sous tension, donner les résultats individuels et prendre la valeur centrale pour caractériser la résistivité transversale. Lorsque certaines éprouvettes n'atteignent pas le régime établi pendant ce temps de mise sous tension, indiquer leur nombre et donner séparément les résultats obtenus sur ces éprouvettes. Lorsque les résultats sont fonction de la durée de mise sous tension, en indiquer les variations, par exemple sous la forme d'un graphique ou en indiquant la valeur centrale de la résistivité transversale après 1 min, 10 min et 100 min.

i) résistivité superficielle (si applicable):

donner les valeurs individuelles après une durée d'application de la tension de 1 min et prendre la valeur centrale en tant que résistivité superficielle.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

c) type, material and dimensions of the electrodes and guards;

d) conditioning of the specimen (cleaning, pre-drying, conditioning time, humidity and temperature, etc.);

e) test condition (specimen temperature, relative humidity);

f) method of measurement;

g) applied voltage;

h) volume resistivity (when relevant);

Notes 1. — When a fixed electrification time is specified, state this time, give the individual results, and report the central value as the volume resistivity.

2. — When measurements have been made after different electrification times report as follows:
Where specimens reach a steady state in the same electrification time, give the individual results, and report the central value as the volume resistivity. Where some specimens do not reach the steady state in this electrification time, report the number failing to do so and give the results on them separately. Where results are dependent on electrification time, report this relationship, e.g., in the form of a graph, or as the central value of the volume resistivity after 1 min, 10 min and 100 min.

i) surface resistivity (when relevant):

give the individual values after 1 min of electrification, and report the central value as the surface resistivity.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

ANNEXE A

EXEMPLES DE MÉTHODES DE MESURE — PRÉCISION CORRESPONDANTE

A1. Méthode voltmètre-ampèremètre

Cette méthode directe utilise le circuit illustré à la figure 5, page 39. La tension appliquée est mesurée au moyen du voltmètre à courant continu. Le courant est mesuré au moyen d'un dispositif de mesure qui peut être un galvanomètre (rarement utilisé aujourd'hui), un appareil à amplificateur électronique ou un électromètre.

En général, le dispositif de mesure doit être court-circuité pendant la charge de l'éprouvette pour éviter qu'elle soit endommagée pendant cette période.

Le galvanomètre doit posséder une sensibilité élevée en courant et être muni d'un shunt universel (également connu sous le nom de shunt d'Ayrton). La résistance inconnue exprimée en ohms se calcule par la formule

$$R_x = U/k\alpha$$

où:

U est la tension appliquée en volts

k est la sensibilité du galvanomètre shunté, en ampères par division

α est la déviation en divisions

Les résistances inférieures ou égales à environ 10^{10} à 10^{11} Ω peuvent être mesurées sous une tension de 100 V avec la précision nécessaire au moyen d'un galvanomètre.

Un appareil à amplificateur électronique ou un électromètre de résistance d'entrée élevée shunté par une résistance, de valeur élevée R_s connue, peut être utilisé comme dispositif de mesure du courant. Le courant est mesuré sous forme de la chute de tension U_s qu'il détermine dans R_s. La résistance inconnue R_x se calcule suivant la formule

$$R_x = U \cdot R_s/U_s$$

où:

U est la tension appliquée (à condition que $R_s \ll R_x$)

Un certain nombre de résistances différentes R_s peuvent être comprises dans le boîtier de l'appareil de mesure, et l'appareil est alors souvent étalonné directement en ampères ou en sous-multiples d'ampères.

Ici encore la résistance maximale qui peut être mesurée avec la précision voulue dépend des caractéristiques du dispositif de mesure du courant. L'erreur sur U_s est fonction de la précision de l'indicateur, de la dérive de l'amplificateur et de la stabilité de son gain. Dans les amplificateurs et les électromètres de conception appropriée, l'instabilité du gain est très faible et la dérive peut être maintenue si basse qu'elle est sans importance, compte tenu de la durée des mesures. La précision des voltmètres électroniques à forte amplification est généralement de ±2% à 5% de la déviation à pleine échelle et des résistances de valeur inférieure ou égale à 10^{12} Ω présentant le même degré de précision sont réalisables. Si le dispositif de mesure de la tension présente une résistance d'entrée supérieure à 10^{14} Ω et dévie à pleine échelle pour une tension d'entrée de 10 mV, un courant de 10^{-14} A peut être mesuré avec une précision d'environ ±10%.

Une résistance de 10^{16} Ω peut ainsi être mesurée sous une tension de 100 V avec la précision nécessaire au moyen d'une résistance de précision de valeur très élevée et d'un voltmètre électronique ou d'un électromètre.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

APPENDIX A

EXAMPLES OF MEASURING METHODS AND THEIR ACCURACY

A1. Voltmeter-ammeter method

This direct method employs the circuit shown in Figure 5, page 39. The applied voltage is measured by the d.c. voltmeter. The current is measured by a current-measuring device, which may be a galvanometer (now seldom used), an electronic amplifier instrument, or an electrometer.

In general, while the specimen is being charged, the measuring device should be short-circuited to avoid damage to it during this period.

The galvanometer should have high current sensitivity and be provided with a universal shunt (also known as Ayrton shunt). The unknown resistance in ohms is calculated as

$$R_x = U/k\alpha$$

where:

U is the applied voltage in volts

k is the sensitivity of the shunted galvanometer in ampere per scale division

α is the deflection in scale divisions

Resistances up to about 10^{10} to 10^{11} Ω can be measured at 100 V with the required accuracy by means of a galvanometer.

An electronic amplifier instrument or an electrometer with high input resistance shunted by a resistor of known, high resistance R_s, may be used as the current-measuring device. The current is measured in terms of a voltage drop U_s across R_s. The unknown resistance R_x, is calculated as

$$R_x = U \cdot R_s/U_s$$

where:

U is the applied voltage (provided $R_s \ll R_x$)

A number of different resistors R_s may be included in the instrument case, and the instrument is then often graduated directly in amperes or submultiples thereof.

Here also the maximum resistance that can be measured with the required accuracy depends on the properties of the current-measuring device. The error in U_s is determined by the indicator error, the amplifier zero drift and gain stability. In adequately designed amplifiers and electrometers the instability in gain is negligible, and the zero drift can be held so low that it is of no concern in relation to the times involved in these measurements. The indicator error for high gain electronic voltmeters is typically ±2% to 5% of full-scale deflection, and resistors up to 10^{12} Ω with about the same degree of accuracy are feasible. If the voltage-measuring device has an input resistance greater than 10^{14} Ω, and full-scale deflection at an input voltage of 10 mV, a current of 10^{-14} A can be measured with an accuracy of about ±10%.

A resistance of 10^{16} Ω can thus be measured at 100 V with the required accuracy by means of a precision resistor with very high resistance and an electronic amplifier voltmeter or electrometer.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

A2. **Méthodes de comparaison**

A2.1 *Méthode du pont de Wheatstone*

L'éprouvette est insérée dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone, comme illustré à la figure 6, page 40. Les trois branches connues doivent présenter une résistance aussi élevée que le permet la précision qui caractérise les résistances de haute valeur. Généralement, la résistance R_B varie par décades et la résistance R_A est utilisée pour un réglage précis de l'équilibrage. R_N est fixe pendant la durée de la mesure. Le détecteur doit être un amplificateur de courant continu dont la résistance d'entrée est élevée par rapport à celle de l'une quelconque de ces branches. La résistance inconnue R_x se calcule comme suit:

$$R_x = R_N \cdot R_B/R_A$$

R_A, R_B et R_N étant les résistances illustrées à la figure 6.

La limite supérieure de l'erreur relative commise sur la valeur calculée est la somme des erreurs relatives de R_A, R_B et R_N lorsque l'indicateur de zéro a une sensibilité suffisante. Si R_A et R_B sont des résistances bobinées de valeur inférieure, par exemple à 1 MΩ, leur précision peut être rendue très grande et la mesure des résistances de très haute valeur peut être effectuée en choisissant R_N égal à 10^9 Ω, valeur qui peut être connue avec une précision de $\pm 2\%$. La précision avec laquelle le rapport R_B/R_A peut être déterminé dépend essentiellement de la sensibilité de l'indicateur de zéro. Si la résistance inconnue $R_x \gg R_N$, l'incertitude Δr dans la détermination du rapport $r = R_B/R_A$ est déterminée par $\Delta r/r = I_g R_x/U$, où I_g est le courant minimal appréciable à l'aide de l'indicateur de zéro et U la tension appliquée au pont. Si, par exemple, on utilise un dispositif amplificateur électronique présentant une résistance d'entrée de 1 MΩ et qui dévie à pleine échelle pour une tension d'entrée de 10^{-5} V, le courant le plus faible appréciable sera d'environ $2 \cdot 10^{-13}$ A, correspondant à 2% de la déviation à pleine échelle. Avec cette valeur de I_g pour $U = 100$ V, et $R_x = 10^{13}$ Ω, on a $\Delta r/r = 0{,}02$ ou 2%.

Les résistances inférieures ou égales à 10^{13} ou 10^{14} Ω peuvent ainsi être mesurées sous une tension de 100 V avec la précision nécessaire par la méthode du pont de Wheatstone.

A2.2 *Méthode de l'ampèremètre*

Cette méthode utilise le circuit illustré à la figure 7, page 40, et les composants sont les mêmes que ceux décrits à l'article A1 avec l'adjonction d'une résistance R_N de valeur connue et d'un interrupteur qui permet de court-circuiter la résistance inconnue. Il est très important que la résistance de cet interrupteur en position ouverte soit beaucoup plus élevée que la résistance inconnue R_x, afin de ne pas fausser la mesure de cette dernière. Ceci est obtenu très facilement en court-circuitant R_x avec un fil de cuivre que l'on enlève au moment de la mesure. En général, il est préférable de laisser R_N toujours en circuit pour limiter le courant en cas de défaillance de l'éprouvette et de protéger ainsi le dispositif de mesure du courant.

L'interrupteur étant ouvert, le courant qui traverse R_x et R_N est déterminé comme spécifié à l'article 10 en notant la déviation α_x du dispositif de mesure et le rapport du shunt F_x, le shunt étant réglé de façon à donner une déviation aussi grande que possible. Puis R_x est court-circuité et le courant traversant R_N déterminé en notant la déviation α_N du dispositif et le rapport du shunt F_N; le shunt étant à nouveau réglé de façon à donner une déviation aussi grande que possible, en commençant par la plus petite sensibilité. A condition que la tension appliquée U ne varie pas au cours de la mesure, R_x peut être calculé à partir de

$$R_x = R_N[(\alpha_N F_N/\alpha_x F_x) - 1]$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

A2. Comparison methods

A2.1 *Wheatstone bridge method*

The test specimen is connected in one arm of a Wheatstone bridge as shown in Figure 6, page 40. The three known arms shall be of as high a resistance as praticable, limited by the errors inherent in such resistors. Usually, the resistance R_B is changed in decade steps and the resistance R_A is used for fine balance adjustment, and R_N is fixed for the duration of measurement. The detector shall be a d.c. amplifier, with an input resistance high compared with any of these arms. The unknown resistance R_x is calculated as follows:

$$R_x = R_N \cdot R_B/R_A$$

where R_A, R_B and R_N are as shown in Figure 6.

The maximum percentage error in the computed resistance is the sum of the percentage errors in R_A, R_B and R_N, when the null detector has adequate sensitivity. If R_A and R_B are wire-wound resistors with values below, for example, 1 MΩ, their errors can be made negligible, and for measuring very high resistances, R_N could be, for instance, 10^9 Ω, which may be known with an accuracy of ±2%. The accuracy with which the ratio R_B/R_A can be determined depends essentially on the sensitivity of the null detector. If the unknown resistance $R_x \gg R_N$, the uncertainty Δr in the determination of the ratio $r = R_B/R_A$ is determined by $\Delta r/r = I_g R_x/U$, where I_g is the minimum perceivable null detector current and U the voltage applied to the bridge. If, for example, an electronic amplifier instrument with input resistance 1 MΩ and full-scale deflection for an input voltage of 10^{-5} is used, the lowest perceivable current will be about $2 \cdot 10^{-13}$ A, corresponding to 2% of full-scale deflection. With this value of I_g, $U = 100$ V, and $R_x = 10^{13}$ Ω, $\Delta r/r = 0.02$ or 2% is obtained.

Resistances up to 10^{13} to 10^{14} Ω can thus be measured at 100 V with the required accuracy by the Wheatstone bridge method.

A2.2 *Ammeter method*

This method employs the circuit shown in Figure 7, page 40, and the components are the same as those described in Clause A1 with the addition of a resistor R_N of known value, and a switch to short-circuit the unknown resistance. It is very important that the resistance of this switch in the open position be much higher than the unknown resistance R_x in order not to affect the measurement of the latter. This is most easily obtained by short-circuiting R_x with a copper wire, which is removed when measuring R_x. In general, it is preferable to leave R_N in the circuit at all times in order to limit the current in case of failure of the specimen and thus protect the current-measuring device.

With the switch open, the current through R_x and R_N is determined as specified in Clause 10 by noting the instrument deflection α_x and the shunt ratio F_x, the shunt being adjusted to give as near as possible maximum scale deflection. Thereafter, R_x is short-circuited and the current through R_N determined by noting the instrument deflection α_N and the shunt ratio F_N, the shunt again being adjusted to give as near as possible maximum scale deflection, starting from the least sensitivity. Provided the applied voltage U does not change during the measurement, R_x can be calculated from

$$R_x = R_N[(\alpha_N F_N/\alpha_x F_x) - 1]$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

si $\alpha_N F_N/\alpha_x F_x > 100$, on peut utiliser la formule approchée

$$R_x = R_N(\alpha_N F_N/\alpha_x F_x)$$

Cette méthode, qui permet de déterminer R_x avec à peu près la même précision que par la méthode directe décrite à l'article A1, présente en outre l'avantage que l'on peut réaliser une vérification *in situ* du dispositif de mesure du courant en effectuant une mesure de R_N. L'incertitude sur R_N peut être rendue négligeable s'il s'agit d'une résistance bobinée pouvant être facilement obtenue avec une précision supérieure ou égale à 0,1%. La mesure du courant traversant R_x peut de ce fait être plus sûre.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

if $\alpha_N F_N/\alpha_x F_x > 100$, the approximated formula may be used

$$R_x = R_N(\alpha_N F_N/\alpha_x F_x)$$

This method allows R_x to be determined with about the same accuracy as by the direct method described in Clause A1, but has the advantage that the current-measuring device is checked *in situ* by the measurement of R_N, the error of which can be made negligible by using a wire-wound resistor, which is readily obtainable with an accuracy of 0.1% or better. The measurement of the current through R_x may thus be more reliable.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

ANNEXE B

FORMULES POUR CALCULER A ET p

Dans la plupart des cas, les formules approchées suivantes s'avèrent d'une précision suffisante pour calculer la surface efficace A et le périmètre efficace p de l'électrode gardée.

B1. **Surface efficace *A***

a) Electrodes circulaires (figure 2, page 37) . . . . . $A = \pi(d_1 + g)^2/4$

b) Electrodes rectangulaires . . . . . $A = (a + g)(b + g)$

c) Electrodes carrées . . . . . $A = (a + g)^2$

d) Electrodes en forme de tubes (figure 3, page 38) . . . . . $A = \pi(d_0 - h)(l_1 + g)$

où d_0, d_1, g, h et l_1 correspondent aux indications des figures 2 et 3 et où a et b sont les longueurs des côtés de l'électrode gardée, lorsque celle-ci est rectangulaire ou carrée. Les dimensions sont exprimées en mètres (centimètres).

B2. **Périmètre efficace**

a) Electrodes circulaires (figure 2) . . . . . $p = \pi(d_1 + g)$

b) Electrodes rectangulaires . . . . . $p = 2(a + b + 2g)$

c) Electrodes carrées . . . . . $p = 4(a + g)$

d) Electrodes en forme de tubes . . . . . $p = 2\pi d_0$

où la signification des symboles est la même qu'à l'article B1.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

APPENDIX B

FORMULAE FOR CALCULATING A AND p

For most purposes, the following approximate formulae are sufficiently accurate for calculating the effective area A and the effective perimeter p of the guarded electrode.

B1. The effective area A

a) Circular electrodes (Figure 2, page 37) . . . . . $A = \pi(d_1 + g)^2/4$

b) Rectangular electrodes . . . . . $A = (a + g)(b + g)$

c) Square electrodes . . . . . $A = (a + g)^2$

d) Tubular electrodes (Figure 3, page 38) . . . . . $A = \pi(d_0 - h)(l_1 + g)$

where d_0, d_1, g, h and l_1 are the dimensions indicated in Figures 2 and 3, and a and b are the length and width, respectively, of the guarded electrode when rectangular or square. The dimensions are expressed in metres (centimetres).

B2. The effective perimeter

a) Circular electrodes (Figure 2) . . . . . $p = \pi(d_1 + g)$

b) Rectangular electrodes . . . . . $p = 2(a + b + 2g)$

c) Square electrodes . . . . . $p = 4(a + g)$

d) Tubular electrodes. . . . . $p = 2\pi d_0$

where the meaning of the symbols is the same as in Clause B1.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

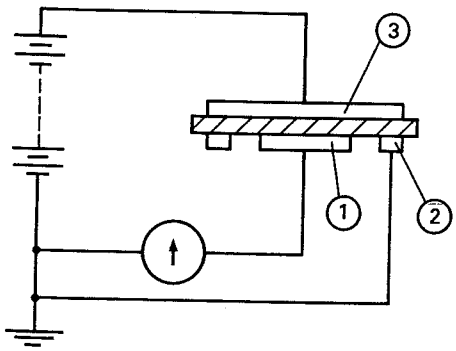

FIGURE 1a

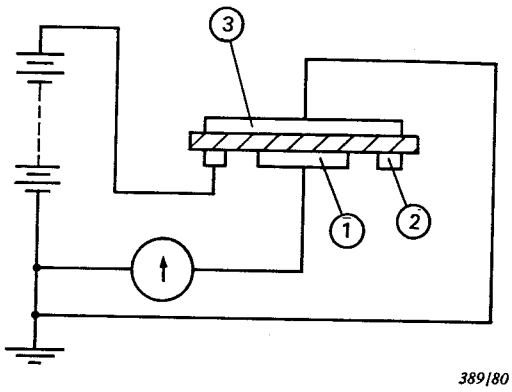

FIGURE 1b

FIG. 1. — Branchements types des électrodes gardées pour la mesure de la:
Basic connections for guarded electrodes used for:

a) résistivité transversale
volume resistivity

b) résistivité superficielle
surface resistivity

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

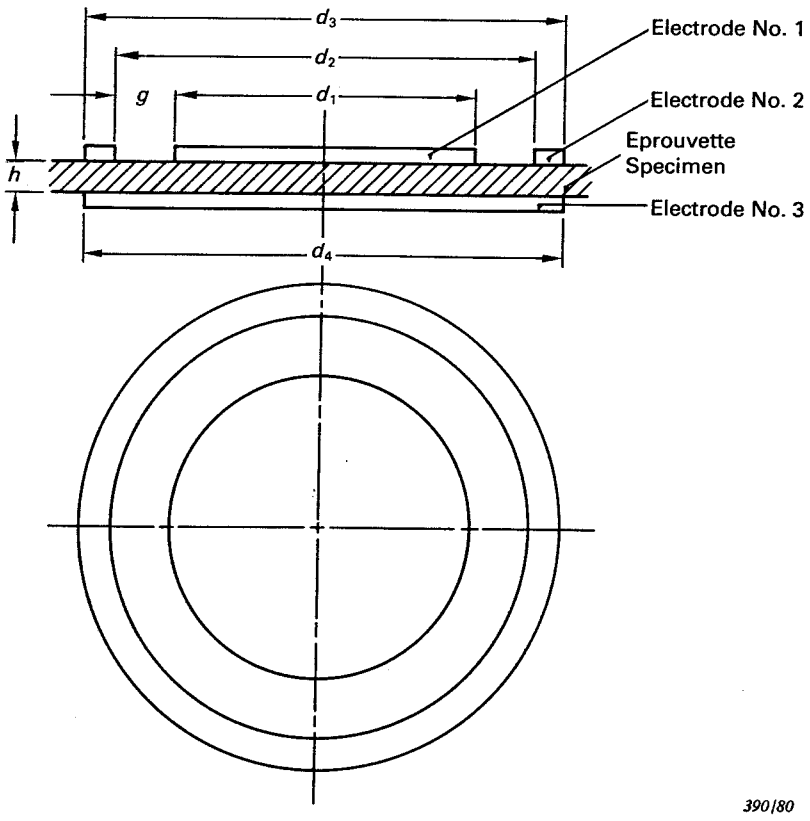

FIG. 2. — Exemple de disposition des électrodes sur des éprouvettes planes.
Example of electrode arrangement on flat specimen.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

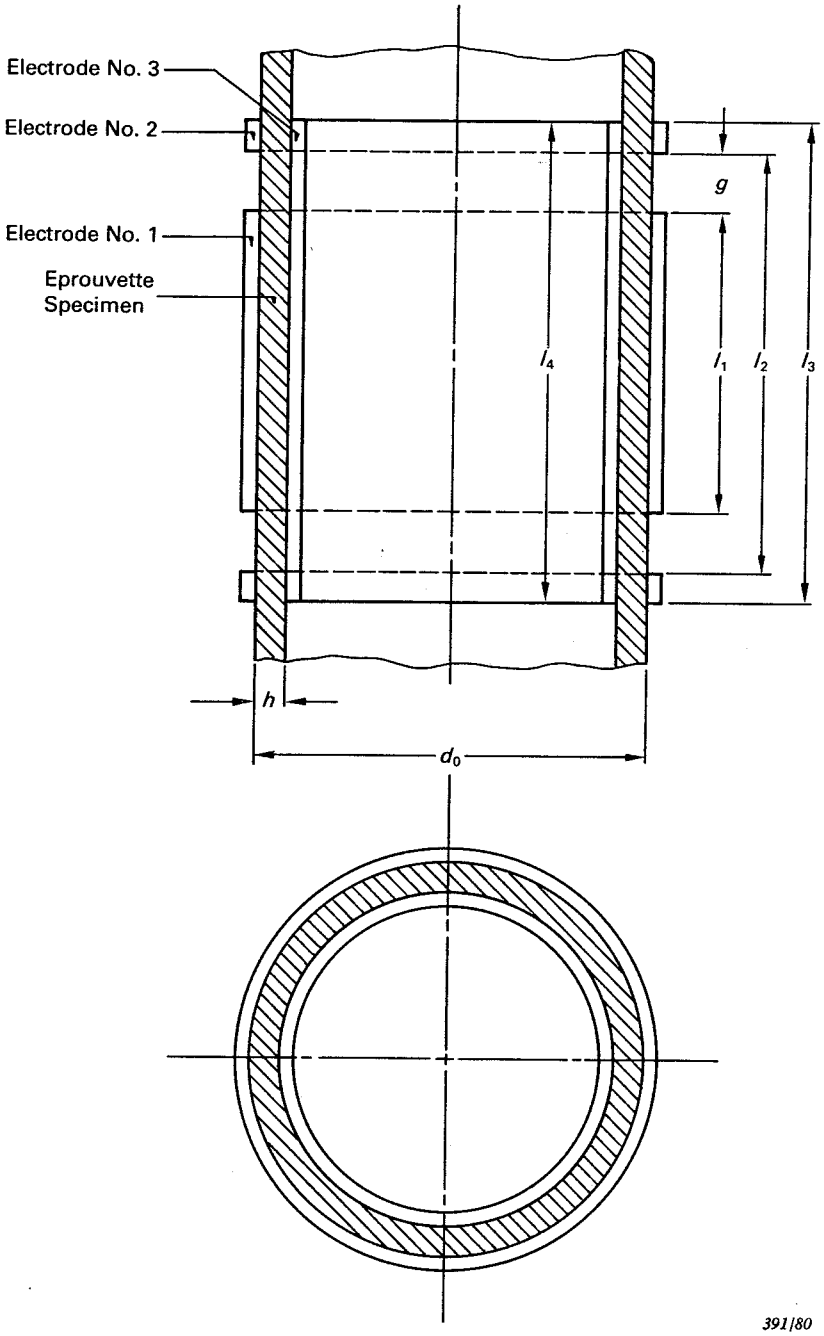

FIG. 3. — Exemple de disposition d'électrodes sur éprouvette tubulaire.

Example of electrode arrangement on tubular specimen.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

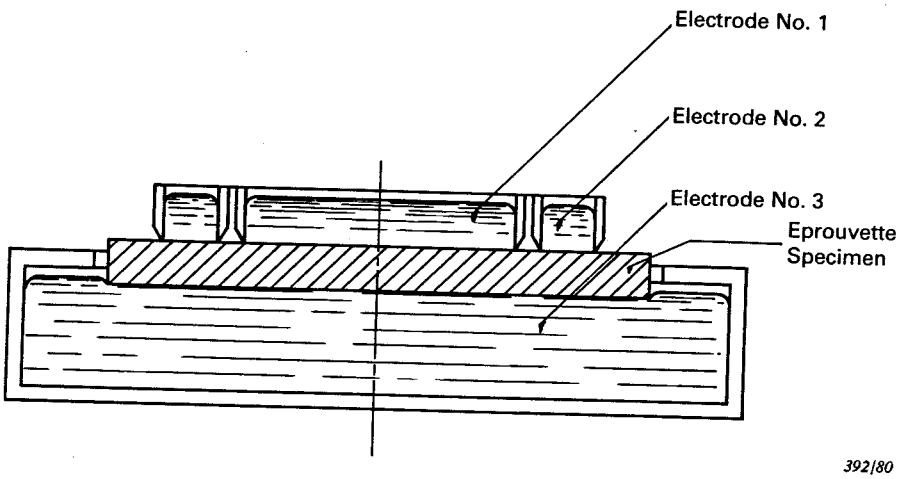

FIG. 4. — Disposition pour électrodes liquides.

Arrangement of liquid electrodes.

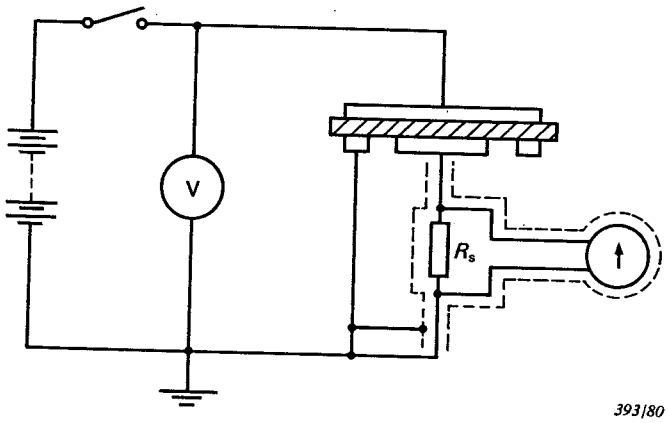

FIG. 5. — Méthode voltmètre-ampèremètre utilisée pour la mesure de la résistance transversale. Pour les mesures de résistance superficielle, les connexions à l'éprouvette sont réalisées comme représenté à la figure 1b.

Voltmeter-ammeter method used for measuring volume resistance. For surface resistance measurements, the connections to the specimen are made as shown in Figure 1b.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

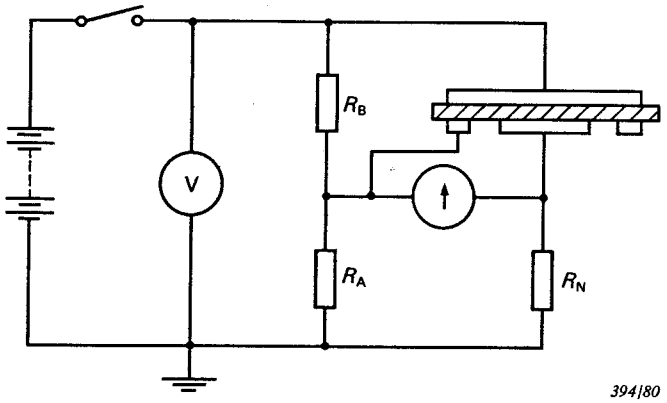

FIG. 6. — Méthode du pont de Wheatstone utilisée pour la mesure de la résistance transversale. Pour les mesures de résistance superficielle, les connexions à l'éprouvette sont réalisées comme représenté à la figure 1b.

Wheatstone bridge method used for measuring volume resistance. For surface resistance measurements, the connections to the specimen are made as shown in Figure 1b.

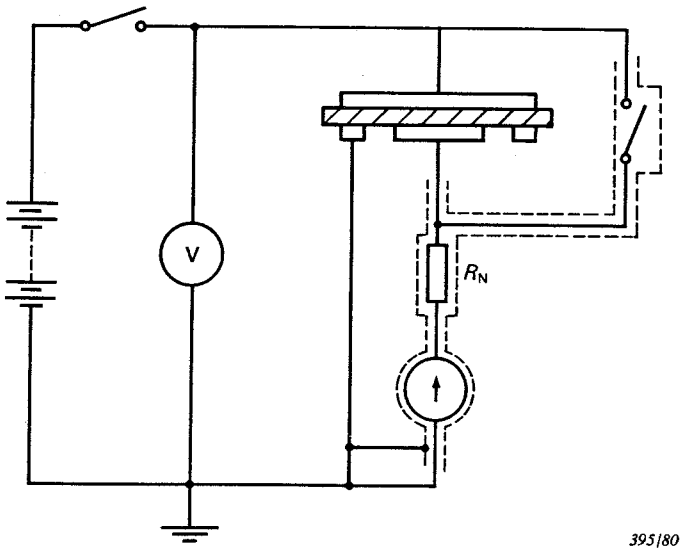

FIG. 7. — Méthode de l'ampèremètre utilisée pour la mesure de la résistance transversale. Pour les mesures de résistance superficielle, les connexions à l'éprouvette sont réalisées comme représenté à la figure 1b.

Ammeter method used for measuring volume resistance. For surface resistance measurements, the connections to the specimen are made as shown in Figure 1b.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ICS 29.040.20

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale