

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
468**

Première édition
First edition
1974

**Méthode de mesure de la résistivité
des matériaux métalliques**

**Method of measurement of resistivity
of metallic materials**

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 468: 1974

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
468

Première édition
First edition
1974

**Méthode de mesure de la résistivité
des matériaux métalliques**

**Method of measurement of resistivity
of metallic materials**

© CEI 1974 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 Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Méthode	6
4. Définitions	6
4.1 Résistivité (volumique)	6
4.2 Densirésistivité	8
4.3 Résistance linéique	8
4.4 Conductivité relative du cuivre-type recuit, en pour-cent	8
5. Unités	8
6. Méthode de référence	10
6.1 Méthode d'essais	10
6.2 Corrections de température	14
6.3 Procès-verbal	16
7. Méthode courante	18
7.1 Méthode d'essais	18
7.2 Corrections de température	18
7.3 Procès-verbal	20
ANNEXE A — Corrections de température	24
ANNEXE B — Analyse des incertitudes	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	
3. Method	7
4. Definitions	7
4.1 Volume resistivity	7
4.2 Mass resistivity	9
4.3 Resistance per unit length	9
4.4 Conductivity per cent I.A.C.S.	9
5. Units	9
6. Reference method	11
6.1 Test method	11
6.2 Temperature correction	15
6.3 Report	17
7. Routine method	19
7.1 Test method	19
7.2 Temperature correction	19
7.3 Report	21
APPENDIX A — Temperature correction	25
APPENDIX B — Analysis of uncertainties	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODE DE MESURE DE LA RÉSISTIVITÉ DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords 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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 58 de la CEI: Méthodes de mesure des propriétés électriques des matériaux métalliques.

La Publication 28 de la CEI: Spécification internationale d'un cuivre-type recuit, définit ce cuivre-type recuit par sa résistivité, sa masse volumique et les coefficients de dilatation linéaire et de variation de la résistance avec la température, dans tous les cas à la température de 20 °C. Elle spécifie que la conductivité du cuivre industriel doit être exprimée en pour-cent de celle du cuivre-type recuit, et fixe les valeurs de masse volumique et des coefficients de température de la résistivité et de la densité de résistivité du cuivre industriel à employer pour le calcul de la résistivité à une température de référence à partir des données mesurées à une autre température. La présente recommandation donne une méthode pour exprimer la conductivité des spécimens réels, mais ne répond pas aux besoins d'une méthode d'essais permettant d'obtenir les données nécessaires.

En 1962, le Comité d'Etudes N° 26: Cuivre et alliages de cuivre, de l'Organisation Internationale de Normalisation, a reconnu le besoin d'un accord international sur une recommandation d'une méthode de mesure de la résistivité ou de la conductivité des matériaux de conductivité élevée et a proposé à la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) d'entreprendre les travaux relatifs à cette recommandation. La CEI a, par la suite, constitué le Comité d'Etudes N° 58. Les travaux relatifs à cette recommandation furent entrepris en 1967.

Des projets ont été discutés lors des réunions tenues à Londres en 1968 et à Washington en 1970. A la suite de ces réunions, un projet final, document 58(Bureau Central)3, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1971. Des modifications, document 58(Bureau Central)5, ont été soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en août 1972.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Canada	Portugal
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHOD OF MEASUREMENT OF RESISTIVITY OF METALLIC 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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 58, Methods of Measurement of Electrical Properties of Metallic Materials.

IEC Publication 28, International Standard of Resistance for Copper, defines this copper standard (I.A.C.S.) in terms of its volume resistivity, density and temperature coefficients of linear expansion and resistance, all at 20 °C. It specifies that the conductivity of commercial copper shall be expressed as a percentage of that of the I.A.C.S., and adopts values for the density and temperature coefficients of volume and mass resistivity of commercial copper to be used in calculating the resistivity at a reference temperature from data measured at some other temperature. This recommendation provides a way to express and report the conductivity of real specimens, but does not meet the need for a test method whereby the necessary data may be obtained.

In 1962, Technical Committee No. 26, Copper and Copper Alloys, of the International Organization for Standardization, recognized the need for international agreement on a recommendation for a test method for the measurement of the resistivity or conductivity of highly conducting materials, and suggested to the International Electrotechnical Commission (IEC) that work on such a recommendation be started. Subsequently, the IEC established Technical Committee No. 58. Work on this recommendation was started in 1967.

Drafts were discussed at the meetings held in London in 1968 and in Washington in 1970. As a result of these meetings, a final draft, document 58(Central Office)3, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1971. Amendments, document 58(Central Office)5, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in August 1972.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Canada
Denmark
France
Germany
Italy
Japan
Netherlands

Portugal
South Africa
(Republic of)
Turkey
Union of Soviet
Socialist Republics
United Kingdom
United States of America

MÉTHODE DE MESURE DE LA RÉSISTIVITÉ DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

1. Domaine d'application

La présente recommandation donne des méthodes de détermination de la résistivité et de la densité de résistivité des matériaux métalliques massifs (non câblés) utilisés dans les conducteurs et dans les résistances, et de la résistance linéique des conducteurs massifs (de section uniforme) en matériaux métalliques. Elle donne des spécifications pour les méthodes de référence et les méthodes courantes de mesure de la résistivité des matériaux métalliques. Elle est destinée à satisfaire le besoin de telles méthodes non seulement pour le cuivre, mais également pour l'aluminium et tous les autres métaux et alliages qui peuvent être utilisés comme conducteurs.

2. Objet

Fournir une méthode générale de mesure de la résistivité des matériaux massifs (non câblés) de résistivité comprise entre $0,01 \mu\Omega \cdot m$ et $2,0 \mu\Omega \cdot m$ (6-1 200 ohm-circular mil/ft), dans des conditions normales.

3. Méthode

La recommandation prévoit deux méthodes: la méthode de référence et la méthode courante. Avec la méthode de référence, l'incertitude totale admise est $\pm 0,25\%$ pour la résistivité (volumique) et $\pm 0,20\%$ pour la densité de résistivité et pour la résistance linéique. Avec la méthode courante, l'incertitude (globale) admise est $\pm 0,65\%$ pour la résistivité (volumique), $\pm 0,45\%$ pour la densité de résistivité et $\pm 0,40\%$ pour la résistance linéique. Chacune des déterminations des grandeurs physiques requises pour le calcul doit être effectuée avec précision et exactitude de sorte que l'incertitude globale, calculée selon la description de l'annexe B, ne dépasse pas les limites susmentionnées. Cela est possible si chaque détermination est effectuée avec précision et exactitude dans les limites d'incertitude indiquées au tableau I. Pour la méthode de référence et la méthode courante, la température de référence est $20^\circ C$.

4. Définitions

4.1 Résistivité (volumique)

La résistivité (volumique) est la résistance d'un conducteur de longueur et de section égales à l'unité. Sa valeur à la température de référence t_0 se calcule par la formule suivante:

$$\rho(t_0) = \frac{A(t_0)}{L_1(t_0)} \cdot R(t_0)$$

où:

$\rho(t_0)$ = résistivité (volumique) à la température de référence t_0

$R(t_0)$ = résistance entre les extrémités de la longueur-étalon du spécimen à la température de référence t_0

$A(t_0)$ = section du spécimen à la température de référence t_0

$L_1(t_0)$ = longueur-étalon du spécimen à la température de référence t_0

METHOD OF MEASUREMENT OF RESISTIVITY OF METALLIC MATERIALS

1. Scope

This recommendation gives procedures for determining the electrical volume resistivity and mass resistivity of solid (non-stranded) metallic conductor and resistor materials, and the resistance per unit length of solid conductors (of uniform cross-sectional area) of metallic materials. It sets out both reference and routine methods of measuring the resistivity of metallic materials. It is intended to cover the need for such methods not only for copper, but also for aluminium and any other metals and alloys that may be used for conductor purposes.

2. Object

To provide a general method of measuring resistivity of solid (non-stranded) materials with resistivities between $0.01 \mu\Omega \cdot m$ and $2.0 \mu\Omega \cdot m$ (6-1 200 ohm-circular mil/ft), under standard conditions.

3. Method

This recommendation provides two methods: reference and routine. For the reference method, the allowed over-all uncertainty is $\pm 0.25\%$ for volume resistivity and $\pm 0.20\%$ for mass resistivity and for resistance per unit length. For the routine method, the allowed over-all uncertainty is $\pm 0.65\%$ for volume resistivity, $\pm 0.45\%$ for mass resistivity and $\pm 0.40\%$ for resistance per unit length. Each of the determinations of the physical quantities required for the calculation shall be made with precision and accuracy such that the over-all uncertainty, calculated as described in Appendix B, does not exceed the limits stated above. This is achieved if the individual determinations are made with precision and accuracy within the limits of uncertainty given in Table I. For both the reference and routine methods, the reference temperature is $20^\circ C$.

4. Definitions

4.1 Volume resistivity

The volume resistivity is defined as the resistance of a conductor of unit length and unit cross-sectional area. Its value at a reference temperature t_0 is calculated from the following formula:

$$\rho(t_0) = \frac{A(t_0)}{L_1(t_0)} \cdot R(t_0)$$

where:

$\rho(t_0)$ = volume resistivity at the reference temperature t_0

$R(t_0)$ = resistance between the ends of the gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

$A(t_0)$ = cross-sectional area of the specimen at the reference temperature t_0

$L_1(t_0)$ = gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

4.2 Densirésistivité

La densirésistivité est la résistance d'un conducteur de longueur et de masse égales à l'unité. Sa valeur à la température de référence t_0 se calcule par la formule suivante:

$$\delta(t_0) = \frac{m}{\mathcal{L}_2(t_0)} \cdot \frac{R(t_0)}{\mathcal{L}_1(t_0)}$$

où:

$\delta(t_0)$ = densirésistivité à la température de référence t_0

$R(t_0)$ = résistance entre les extrémités de la longueur-étalon du spécimen à la température de référence t_0

m = masse du spécimen

$\mathcal{L}_1(t_0)$ = longueur-étalon du spécimen à la température de référence t_0

$\mathcal{L}_2(t_0)$ = longueur totale du spécimen à la température de référence t_0

4.3 Résistance linéique

La résistance linéique, $R_{\ell}(t_0)$, à la température de référence se calcule par la formule:

$$R_{\ell}(t_0) = \frac{R(t_0)}{\mathcal{L}_1(t_0)}$$

où:

$R(t_0)$ = résistance entre les extrémités de la longueur-étalon du spécimen à la température de référence t_0

$\mathcal{L}_1(t_0)$ = longueur-étalon du spécimen à la température de référence t_0

4.4 Conductivité relative du cuivre-type recuit, en pour-cent

Les valeurs de la résistivité et de la densirésistivité pour le cuivre-type recuit conforme à la Spécification Internationale sont définies dans la Publication 28 de la CEI (1925): Spécification internationale d'un cuivre-type recuit, et sont reproduites dans le tableau II. La Publication 28 définit la conductivité du *cuivre recuit industriel*, à la température de 20 °C, en pour-cent de celle du cuivre-type recuit, la conductivité étant l'inverse de la résistivité. On admet que la masse volumique du cuivre recuit industriel est identique à celle du cuivre-type recuit et, par conséquent, il importe peu que les conductivités se rapportent à la masse ou au volume. Depuis 1925, toutefois, il est devenu d'usage courant de se référer à la conductivité d'autres métaux en fonction du cuivre-type recuit et, étant donné que les masses volumiques peuvent ne pas être identiques à celles du cuivre, il est nécessaire en de tels cas de préciser si la conductivité se rapporte au volume ou à la masse. La conductivité relative du cuivre-type recuit (en volume) ou la conductivité relative du cuivre-type recuit (en masse) est alors définie comme égale à 100 fois le rapport de la valeur définie (résistivité ou densirésistivité) dans la Spécification Internationale pour le cuivre-type recuit à la résistivité ou densirésistivité du spécimen d'essai dans les mêmes unités.

5. Unités

Dans toute la présente recommandation, on utilise le Système International d'unités (S.I.). Etant donné qu'il est encore courant dans l'industrie de se référer à des unités rattachées au système « foot-pound » ou au système « centimètre-gramme-seconde » (cgs), ces dernières unités sont données entre parenthèses ou en plus, s'il y a lieu.

L'unité de résistivité est $\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m} = \Omega \cdot \text{m}$. Pour des raisons de commodité, on emploie d'habitude un sous-multiple de l'unité principale, c'est-à-dire $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, qui correspond à $\mu\Omega \cdot \text{m}$, représentant la résistance, en ohms, d'un conducteur de 1 mm² de section et de 1 m de longueur (dans le système « foot-pound », les unités couramment utilisées sont l'ohm-circular mil/ft ou l'ohm-square mil/ft, représentant la résistance, en ohms, d'un conducteur de 1 circular mil ou de 1 square mil de section et de 1 ft de longueur).

L'unité de densirésistivité est $\Omega \cdot \text{kg}/\text{m}^3$. Pour des raisons de commodité, on emploie d'habitude un sous-multiple de cette unité, c'est-à-dire $\Omega \cdot \text{g}/\text{m}^3$ (dans le système « foot-pound », l'unité couramment utilisée est $\Omega \cdot \text{lb}/\text{mile}^3$).

L'unité de résistance linéique est Ω/m (dans le système « foot-pound », Ω/mile ou parfois Ω/ft).

4.2 Mass resistivity

The mass resistivity is defined as the resistance of a conductor of unit length and unit mass. Its value at a reference temperature t_0 is calculated from the following formula:

$$\delta(t_0) = \frac{m}{\ell_2(t_0)} \cdot \frac{R(t_0)}{\ell_1(t_0)}$$

where:

$\delta(t_0)$ = mass resistivity at the reference temperature t_0

$R(t_0)$ = resistance between the ends of the gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

m = mass of the specimen

$\ell_1(t_0)$ = gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

$\ell_2(t_0)$ = total length of the specimen at the reference temperature t_0

4.3 Resistance per unit length

The resistance per unit length, $R/\ell(t_0)$, at the reference temperature is calculated from the formula:

$$R/\ell(t_0) = \frac{R(t_0)}{\ell_1(t_0)}$$

where:

$R(t_0)$ = resistance between the ends of the gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

$\ell_1(t_0)$ = gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

4.4 Conductivity per cent I.A.C.S.

The values of volume and mass resistivity for the International Annealed Copper Standards (I.A.C.S.) are defined in IEC Publication 28 (1925), International Standard of Resistance for Copper, and are reproduced in Table II. Publication 28 defines the conductivity of *commercial annealed copper* as a percentage, at 20 °C, of that of standard annealed copper, conductivity being the reciprocal of resistivity. It is assumed that the density of commercial annealed copper is the same as that of standard annealed copper, and hence it is immaterial whether the conductivities are mass or volume values. In the years since 1925, however, it has become common practice to refer to the conductivity of other metals in terms of the I.A.C.S. and, since the densities may not be the same as that of copper, it is necessary in these cases to specify the basis of the conductivity, whether volume or mass. Conductivity per cent I.A.C.S. (volume) or conductivity per cent I.A.C.S. (mass) is then defined as 100 times the ratio of defined resistivity (either volume or mass) of the International Annealed Copper Standard to the resistivity of the test specimen in the same units.

5. Units

The International System (S.I.) of units is used throughout this recommendation. Since common commercial practice still makes use of units related to the “foot-pound” system or to the “centimetre-gram-second” (cgs) system, these are given in parentheses or additionally where appropriate.

The unit of volume resistivity is $\Omega \cdot \text{m}^3/\text{m} = \Omega \cdot \text{m}$. For practical reasons, a submultiple unit is commonly used, viz. $\Omega \cdot \text{mm}^3/\text{m}$, which corresponds to $\mu\Omega \cdot \text{m}$, representing the resistance in ohms of a conductor of cross-sectional area 1 mm² and length 1 m (in the “foot-pound” system, commonly used units are ohm·circular mil/ft or ohm·square mil/ft, representing the resistance, in ohms, of a conductor of cross-sectional area 1 circular mil or 1 square mil, and length 1 ft).

The unit of mass resistivity is $\Omega \cdot \text{kg}/\text{m}^2$. For practical reasons, a submultiple of this unit is commonly used, viz. $\Omega \cdot \text{g}/\text{m}^2$ (in the “foot-pound” system, a commonly-used unit is $\Omega \cdot \text{lb}/\text{mile}^2$).

The unit of resistance per unit length is Ω/m (in the “foot-pound” system, Ω/mile or sometimes Ω/ft).