

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Laboratory resistors –
Part 2: Laboratory AC resistors**

**Résistances de laboratoire –
Partie 2: Résistances de laboratoire à courant alternatif**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Laboratory resistors –
Part 2: Laboratory AC resistors**

**Résistances de laboratoire –
Partie 2: Résistances de laboratoire à courant alternatif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 31.040.01

ISBN 978-2-8322-1092-7

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Resistor characterization and construction	8
4.1 Resistor characterization	8
4.2 Resistor construction	9
5 General requirements	9
5.1 DC resistance, AC resistance and time constant	9
5.2 Multiple resistors	10
5.3 Multi-dial resistors	10
5.4 Connecting leads	10
5.5 Conditions for the determination of DC and AC characteristics	11
6 Permissible variations	11
7 Further electrical and mechanical requirements	12
8 Information, markings and symbols	12
8.1 Information	12
8.2 Markings and symbols	12
Annex A (informative) Examples of markings	14
A.1 Example of marking for a single AC resistor	14
A.2 Example of marking for a five-dial AC resistor	14
Annex B (informative) General considerations regarding laboratory AC resistors	16
Annex C (informative) Equivalent circuits of an AC resistor	18
C.1 General	18
C.1.1 Two-element equivalent circuit of an AC resistor	18
C.1.2 Three-element equivalent circuits	20
C.2 Guard terminal	23
Annex D (informative) Construction of AC resistors	24
D.1 Construction and electrical definition of the impedance	24
D.2 Two-terminal resistor	24
D.3 Three-terminal resistor	24
D.4 Four-terminal resistor	25
D.5 Five-terminal resistor	25
D.6 Four-terminal coaxial resistor	26
D.7 Two-terminal-pair resistor	26
D.8 Four-terminal-pair resistor	27
Figure A.1 – Example of marking for a single AC resistor	14
Figure A.2 – Example of marking for a five-dial resistor	14
Figure C.1 – The three-element equivalent circuit of an AC resistor (Category A)	20
Figure C.2 – The three-element equivalent circuit of an AC resistor (Category C)	22
Figure D.1 – Two-terminal resistor	24
Figure D.2 – Three-terminal resistor	25
Figure D.3 – Four-terminal resistor	25

Figure D.4 – Five-terminal resistor	26
Figure D.5 – Four-terminal coaxial resistor	26
Figure D.6 – Two-terminal-pair resistor	27
Figure D.7 – Four-terminal-pair resistor	27
Table 1 – Limits of the AC resistance relative uncertainty	9
Table 2 – Limits of the AC/DC difference	10
Table 3 – Upper limit of the nominal range of use for frequency	11

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LABORATORY RESISTORS –**Part 2: Laboratory AC resistors****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60477-2 has been prepared by IEC technical committee 85: Measuring equipment for electrical and electromagnetic quantities. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1979, and Amendment 1:1997. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) extended the AC resistor frequency range to 1 MHz;
- b) updated the terms and definitions according to IEC 60050 series;
- c) added the definition of AC/DC difference of an AC resistor;
- d) added the resistor classification according to the AC resistance or AC/DC difference index;
- e) updated the classification according to the AC resistor construction;
- f) updated the safety symbols and requirements according to IEC 60477-1;
- g) added the three-element equivalent circuits of an AC resistor in Annex C;

h) added the annex on constructions of AC resistors.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
85/822/FDIS	85/825/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

A list of all parts in the IEC 60477 series, published under the general title *Laboratory resistors*, can be found on the IEC website.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

LABORATORY RESISTORS –

Part 2: Laboratory AC resistors

1 Scope

This part of IEC 60477 applies to resistors intended as laboratory AC resistors for use over a range of frequencies from DC up to a stated frequency which is not in excess of 1 MHz. Such resistors are hereinafter referred to as "AC resistors".

In addition to satisfying the requirements of IEC 60477-1, resistors satisfying the requirements of this document are designed to have a small variation of resistance and a small phase displacement over the stated frequency range.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60477-1, *Laboratory resistors – Part 1: Laboratory DC resistors*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>

3.1

equivalent electric circuit

circuit composed of ideal circuit elements which has, at the terminals or ports, a behaviour equivalent to that of a given electric or magnetic circuit or device

Note 1 to entry: Equivalent electric circuits can also be used to represent other kinds of devices or phenomena.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-15-07]

3.2

circuit element

in electromagnetism, mathematical model of a device characterized by one or more relations between integral quantities

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-03]

3.3**equivalent circuit of an AC resistor**

equivalent electric circuit of an AC resistor

electric circuit which has the same AC characteristics as a resistor, and which would have an impedance equal to the resistor under specified operating conditions

Note 1 to entry: Specified operating conditions should include working frequency and voltage.

3.4**two-element equivalent circuit of an AC resistor**

equivalent circuit of an AC resistor with two elements under specified operating conditions

Note 1 to entry: A two-element equivalent circuit of an AC resistor is given by either an equivalent AC resistance, R_s in series with an equivalent inductance, L_s or an equivalent AC resistance, R_p in parallel with an equivalent capacitance, C_p (see Annex C).

3.5**three-element equivalent circuit of an AC resistor**

equivalent electric circuit of an AC resistor with three elements under specified operating conditions

3.6**equivalent AC resistance of an AC resistor****AC resistance**

value of resistance (R_s or R_p) which is the AC resistive component of the resistor

Note 1 to entry: The AC resistance is usually taken as the equivalent series resistance R_s , for resistors of Category A, and as the equivalent parallel resistance R_p , for resistors of Category C (see Annex B).

3.7**terminal pair**

port consisting of two terminals such that the electric current directed from an external circuit or device to one terminal is identical with the current directed from the other terminal to the external circuit or device

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-12-63]

3.8**time constant**

τ

time τ in the expression $F(t) = A + Be^{-t/\tau}$ of a quantity F growing or decaying exponentially towards a constant value A with increasing time t , or in the expression $F(t) = A + f(t)e^{-t/\tau}$ of an exponentially damped oscillation, where f is a periodic function of time

Note 1 to entry: The time constant of an exponentially varying quantity is the duration of a time interval at the end of which the absolute value of the difference between the quantity and the limit has decreased to $1/e$ of the absolute value of this difference at the beginning of the time interval, where e is the base of natural logarithms.

Note 2 to entry: For a resistor, at any particular frequency, the time constant is defined as either: L_s/R_s , or $R_p C_p$ whichever yields a positive value (see Annex C). For determining the time constant, the DC resistance may be used instead of the equivalent AC resistance.

Note 3 to entry: For a resistor using the three-element equivalent circuit expressed, the time constant is

approximately equal to: $\frac{L}{R} - CR$, or $CR - \frac{L}{R}$ (see Annex C).

Note 4 to entry: The phase displacement of the current flowing through the resistor from the voltage appearing across it with a time constant L_s/R_s or $\frac{L}{R} - CR$ is such that the current is lagging, and that with a time constant $R_p C_p$ or $CR - \frac{L}{R}$ is leading when L_s and C_p have positive values, L_s and L being expressed in henrys, R_s , R_p and R in ohms and C_p and C in farads.

[SOURCE: IEC 60050-103:2009, 103-05-26, modified – The existing Note 2 has been deleted and a new Note 2, Note 3 and Note 4 to entry have been added to adapt to usage in AC resistor technology.]

3.9

time constant index

conventional designation of a time constant by a number or symbol

Note 1 to entry: In this document, the time constant index is expressed in seconds using the appropriate SI prefix.

3.10

AC/DC difference

<of an AC resistor> difference between the equivalent AC resistance at a stated frequency and the DC resistance, expressed as a percentage (%) of the DC resistance

3.11

AC/DC difference index

number which designates the limit of the AC/DC difference in nominal range of use for frequency, expressed in %

3.12

frequency index

number which designates the upper limit of the nominal range of use for frequency, expressed in hertz using the appropriate SI prefix

3.13

skin effect

for an alternating electric current in a conductor, phenomenon in which the current density is greater near the surface than in the interior of the conductor

Note 1 to entry: The skin effect increases the resistance and decreases the inductance of a conductor with the frequency of the electric current.

Note 2 to entry: The skin effect occurs also in the more general case of any time-varying current.

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-13-18]

3.14

residual inductance

inductance value between the points of connection of a multiple or multi-dial AC resistor having switching devices with a zero position, when all switching elements are set to the zero position

4 Resistor characterization and construction

4.1 Resistor characterization

AC resistors satisfying the requirements of this document are characterized:

- by classes related to their DC accuracy as specified in IEC 60477-1,
- by classes related to their equivalent AC resistance as specified in 5.1 or AC/DC difference indices as specified in 5.1, and
- by time constant indices as specified in 5.1, and

d) by frequency indices as specified in Clause 6.

4.2 Resistor construction

Because of the uncertainties in AC properties which can result from stray inductances, stray capacitances, eddy currents, dielectric absorption effects and skin effects, the AC resistors to which this document applies are classified according to their construction (see Annex D), as follows:

- a) two-terminal resistor, each terminal being able to be used both for current or potential;
- b) three-terminal resistor which has one more shield terminal (can also be called a guard terminal) connected to the electric screen than the two-terminal resistor to reduce the stray capacitances effect;
- c) four-terminal resistor which has independent current terminals and potential terminals to reduce the stray inductances and contact resistances;
- d) five-terminal resistor which has one more shield terminal than the four-terminal resistor;
- e) four-terminal coaxial resistor which has two terminal-pairs with the outer shield conductors working as the low terminal of current or potential;
- f) two-terminal-pair resistor which has two terminal-pairs with the outer shield conductors working as the return path for the signal current (not grounded);
- g) four-terminal-pair resistor which has four terminal-pairs with the outer shield conductors working as the return path for the signal current (not grounded) to eliminate the effect of mutual coupling between the current and potential leads.

5 General requirements

5.1 DC resistance, AC resistance and time constant

The DC characteristics of an AC resistor shall be as specified in IEC 60477-1.

The equivalent AC resistance of an AC resistor characterized by class related to the AC resistance shall comply with the limits of relative uncertainty as specified for their AC resistance class index in Table 1 at initial calibration.

Table 1 – Limits of the AC resistance relative uncertainty

AC resistance class index	0,000 01	0,000 02	0,000 05	...	2	5	10
Limits of relative uncertainty for AC resistance	0,000 01 %	0,000 02 %	0,000 05 %	...	2 %	5 %	10 %
NOTE The value of the AC resistance of a given resistor is somewhat dependent on the frequency at which it is measured. However, as the purpose here is to classify AC resistors, measurements at 1 kHz (or lower) are generally adequate.							

The AC/DC difference of an AC resistor characterized by AC/DC difference index shall comply with the limits of AC/DC difference specified for its AC/DC difference index in Table 2 at initial calibration.

Table 2 – Limits of the AC/DC difference

AC/DC difference index	0,000 001	0,000 002	0,000 005	...	0,2	0,5	1
Limits of the AC/DC difference	$\pm 0,000\ 001\ %$	$\pm 0,000\ 002\ %$	$\pm 0,000\ 005\ %$	...	$\pm 0,2\ %$	$\pm 0,5\ %$	$\pm 1\ %$
NOTE Measurements at 1 kHz (or lower) are here generally adequate.							

An AC resistor shall choose either an AC resistance class index or an AC/DC difference index to show the AC resistance character.

The time constant of an AC resistor shall not exceed the appropriate value of the time constant index selected from the sequence:

- 1 ns, 2 ns, 5 ns, 10 ns, ...100 μ s.

NOTE The value of the time constant of a given resistor is also somewhat dependent on the frequency at which it is measured. Measurements at 1 kHz (or lower) are here generally adequate as with the measurements of AC resistance.

5.2 Multiple resistors

Multiple resistors, excluding multi-dial resistors, may have a different AC resistance class or AC/DC difference and time constant index for each selectable value.

For a multiple resistor in which the lowest selectable resistance value is nominally zero, the manufacturer shall state the value of the residual inductance under this condition.

5.3 Multi-dial resistors

Multi-dial resistors shall have a single AC resistance class index or AC/DC difference index and a single time constant index for all selectable values on any dial used alone. The several dials may each have a different AC resistance class index or AC/DC difference index and a different time constant index.

The AC resistance class index or AC/DC difference index of a given dial shall also apply at any setting of the dial when that dial is used in conjunction with any setting of any dial(s) inferior to it in value.

The time constant index of a given dial shall also apply at any setting of the dial when that dial is used in conjunction with any setting of any dial(s) inferior to it in value.

5.4 Connecting leads

Separate current and potential connections shall be made to a resistor having a pair of terminals for each port of connection, unless other conditions are stated by the manufacturer. The mutual inductances between the current and potential leads and between each of these leads and the resistor shall be minimized.

The leads making connection to a resistor having a single terminal for each port of connection shall be arranged so as to minimize their inductance.

NOTE 1 This arrangement is particularly important for resistors of values of 10 Ω and lower.

The leads making connection to a resistor shall not alter significantly the equivalent parallel capacitance, if necessary, by the provision of a screen for each lead and by the use of an appropriate measuring circuit.

NOTE 2 The magnitude of capacitance that will cause a significant alteration will depend upon the value of the resistance and the time constant.

5.5 Conditions for the determination of DC and AC characteristics

All tests of DC characteristics shall be carried out as specified in IEC 60477-1.

NOTE At low frequencies, the uncertainty of an AC resistor is essentially the same as its uncertainty at DC.

At higher frequencies, an additional variation as specified in Clause 6 is permitted.

All tests of AC characteristics shall be carried out under the reference conditions specified in IEC 60477-1.

The AC resistance of an AC resistor shall be measured at a frequency of 1 kHz or at the frequency corresponding to its frequency index if the latter is lower (see Clause 6).

The time constant of an AC resistor shall be measured at a frequency of 1 kHz or at the frequency corresponding to its frequency index if the latter is lower (see Clause 6).

The residual inductance of an AC resistor (see 5.2) shall be measured with the resistor connected as in normal use and at a frequency of 1 kHz or at the frequency corresponding to its frequency index if the latter is lower (see Clause 6).

A resistor with a shield terminal (see items b) and d) of 4.2 shall be tested with the screen connected as specified by the manufacturer.

A resistor without a shield terminal (see items a) and c) of 4.2 shall be tested within an earthed conductive enclosure as specified by the manufacturer. If this enclosure is not specified, the resistor shall be tested within an earthed conductive enclosure separated from the surface of the resistor by between 10 mm and 20 mm at all places.

A resistor with terminal pairs (see items e), f) and g) of 4.2 shall be tested with the terminal pair connected as specified by the manufacturer.

Any other necessary conditions shall be stated by the manufacturer.

When necessary, details of the testing method shall be agreed between the manufacturer and the user.

6 Permissible variations

Changes in influence quantities over the nominal ranges of use specified in IEC 60477-1 will cause no significant effect on the AC characteristics of the resistor. Requirements relating to variations of AC characteristics other than those due to frequency are therefore not included in this document.

The upper limit of the nominal range of use for frequency shall be designated using the appropriate frequency index selected from Table 3.

Table 3 – Upper limit of the nominal range of use for frequency

Frequency index	1 M	500 k	200 k	...	500	200	100	50
Upper limit of the nominal range of use for frequency	1 MHz	500 kHz	200 kHz	...	500 Hz	200 Hz	100 Hz	50 Hz

When the AC resistor is under reference conditions as specified in IEC 60477-1, the AC resistance relative uncertainty for any frequency within its nominal range of use shall not exceed the permissible AC resistance relative uncertainty (see 5.1), or the AC/DC difference for any frequency within its nominal range of use shall not exceed the permissible AC/DC difference (see 5.1).

Multiple resistors, excluding multi-dial resistors, may have a different frequency index for each selectable value.

Multi-dial resistors shall have a single frequency index for all selectable values on any dial used alone. The several dials may each have a different frequency index. The frequency index of a given dial shall also apply when that dial is used in conjunction with any dial(s) inferior to it in value.

Conditions for the determination of the variation due to frequency:

- connecting leads shall be arranged as specified in 5.4.
- when necessary, details of the testing method shall be agreed between the manufacturer and the user.

7 Further electrical and mechanical requirements

AC resistors shall comply with the further electrical and mechanical requirements specified in IEC 60477-1.

The manufacturer shall specify the method(s) of connection of the screen, if any.

The manufacturer shall state whether the characteristics are given relating to the equivalent series model or the equivalent parallel model (see 3.4) as relevant (see note to 3.6).

8 Information, markings and symbols

8.1 Information

In addition to the markings required by IEC 60477-1 (except for those mentioned in 8.2 of this document), AC resistors shall also carry markings to show the AC resistance class index or AC/DC difference index, time constant index and the frequency index.

The AC resistance class index or AC/DC difference index shall be marked using the appropriate value selected from the set of values given in Table 1 or Table 2 (see 5.1) and shall follow "AC resistance" or "AC/DC difference".

The time constant index shall be marked using the appropriate value selected from the set of values given in 5.1 and followed by "s".

The frequency index shall be marked using the appropriate value selected from Table 3 and followed by "Hz".

For a multiple resistor in which the lowest selectable resistance value is nominally zero, the value of residual inductance under this condition (see 5.2) shall be marked.

8.2 Markings and symbols

The markings (see Annex A) of AC resistance class index or AC/DC difference index, time constant index and frequency index specified in 8.1 shall be given on a nameplate or on the enclosure and shall follow the marking for DC accuracy class (as specified in IEC 60477-1) on the same line or on successive lines and in the order stated in 8.1.

The marking of residual inductance specified in 8.1 shall be given on a nameplate or on the enclosure and shall follow the marking of the value of the residual resistance (as specified in IEC 60477-1).

Instead of the marking "Laboratory DC resistor" (see 9.2 of IEC 60477-1:2022), AC resistors shall be marked "Laboratory DC / AC resistor". This term may be marked in any other language.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022

Annex A (informative)

Examples of markings

A.1 Example of marking for a single AC resistor

Figure A.1 is an example marking for a single AC resistor.

NN Laboratory DC / AC resistor					
1 Ω	0,002	AC / DC difference	0,002	100 ns	10 kHz
<u>0 ... 0,1 W</u> ... 1 W					
15 °C ... <u>23 °C</u> ... 25 °C					
No 000 000				CAT II Pollution degree I	

IEC

Figure A.1 – Example of marking for a single AC resistor

The marking denotes that the time constant index is 100 ns. This indicates that the time constant measured at 1 kHz does not exceed 100 ns. The value of the time constant will not change significantly over the nominal range of use for frequency.

Also, the frequency range is DC to 10 kHz. This denotes that the variation of the equivalent AC resistance at any frequency between DC and 10 kHz will not exceed 0,002 % of the nominal value.

For other markings, see IEC 60477-1.

A.2 Example of marking for a five-dial AC resistor

Figure A.2 gives an example marking for a five-dial AC resistor.

NN Laboratory DC / AC resistor					
	10 × 1 000	100	10	1	0,1 Ω
	0,01	0,02	0,02	0,1	0,2
AC / DC difference	0,005	0,01	0,01	0,02	0,05
	100 ns	100 ns	1 μs	10 μs	100 μs
	10 kHz	10 kHz	5 kHz	200 Hz	100 Hz
<u>0 W ... 0,5 W</u> ... 1 (2) W for each step					
15 °C ... <u>23 °C</u> ... 25 °C					
$R_0 = (5 \pm 0,5) \text{ m}\Omega$				CAT II Pollution degree I	
$L_0 = (7 \pm 0,5) \mu\text{H}$					
No. 000 000					

IEC

Figure A.2 – Example of marking for a five-dial resistor

The marking denotes that the residual inductance (with all dials set to zero) is $(7 \pm 0,5) \mu\text{H}$.

The numbers given in the third row of Figure A.2 (following "AC / DC difference") denote that the AC/DC difference does not exceed $\pm 0,05$ % at any frequency up to 100 Hz on the 0,1 Ω dial, $\pm 0,02$ % up to 200 Hz on the 1 Ω dial, $\pm 0,01$ % up to 5 kHz on the 10 Ω dial, $\pm 0,01$ % up to 10 kHz on the 100 Ω dial and $\pm 0,005$ % up to 10 kHz on the 1 000 Ω dial.

The numbers given in ns and μ s denote that the time constant does not exceed 100 μ s at any frequency up to 100 Hz on the 0,1 Ω dial, 10 μ s up to 200 Hz on the 1 Ω dial, 1 μ s up to 5 kHz on the 10 Ω dial and 100 ns up to 10 kHz on the other dials.

However, as the time constant does not change significantly over the nominal range of use for frequency, it is measured at 1 kHz or at the frequency corresponding to the frequency index when this is lower (see note to 5.1).

The numbers preceding the symbol "Hz" are the frequency indices. These denote that the variation of the equivalent AC resistance of each dial at any frequency between DC and the corresponding upper limit of the nominal range of use for frequency (designated by the appropriate frequency index) will not exceed the AC/DC difference limits corresponding to the relevant AC/DC difference index.

The numbers preceding "ns (μ s)" and "Hz" for any dial imply that the performance indicated will be obtained no matter which dials inferior in value are also in use.

For other markings, see IEC 60477-1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022

Annex B (informative)

General considerations regarding laboratory AC resistors

This document on AC resistors has been prepared as an extension of IEC 60477-1, applying to resistors intended to be used with alternating as well as with direct current.

AC resistors, in addition to covering a wide range of values, for example from tens of milliohms to a megohm, are designed for frequencies differing widely in range; some may be used only at 50 Hz or 60 Hz, while others are capable of use as laboratory resistors at the lower radio frequencies. For the purpose of this document, an upper limit of 1 MHz has been set. The requirements for these varied applications have been incorporated in this document.

The AC properties of a resistor are inherently of a subtle and complex nature but in spite of this the standard is straightforward. The most informative characteristic to use as the criterion for assessing an AC resistor is the frequency up to which it will operate as a resistor within some specified limits of uncertainty or variations on resistance and phase-angle. By using frequency as the basic parameter for classifying AC resistors, it has been possible to prepare a standard that is wide-ranging and simple.

Although the phase-angle is the quantity that is important in the use of a resistor, it is more convenient and appropriate to specify the time constant as this is not dependent, or is only slightly dependent, on frequency.

Resistors for AC applications may be divided into three categories according to their values, as given in the dashed list below. However, in this document it has not been found necessary to make these divisions, but merely to specify those features and conditions that are necessary and sufficient.

- Category A
Low values below, say, about 100 Ω . The effects of inductance and eddy currents predominate.
- Category B
Intermediate values, between Categories A and C. The effects in both Categories A and C are likely to be significant.
- Category C
High values above, say, 1 000 Ω . The effects of capacitance usually predominate.

Resistors in Category A may have either two or four terminals, or four terminal pairs. It is necessary for the resistor to have four terminals or four terminal-pairs if the least uncertainty of inductance as well as of resistance of connection leads is to be realized. It is necessary for the resistor to have four terminal-pairs if the least uncertainty of mutual coupling between the current and voltage leads is to be realized.

Category B resistors can readily be designed so that the uncertainty in inductance arising from the connection of the leads is negligible. Likewise, the effect of the capacitance uncertainty can be made negligible.

Resistors in Category C, as well as the high value resistors of Category B, shall be screened or use the terminal-pair connectors when high accuracy of time constant is required.

Resistors which have an independent electric screen can be used only in circuits which are compatible with guard terminal devices.

Resistors which are of terminal-pair type construction can be used only in circuits which are compatible with terminal-pair devices which return the current through the outer shield conductors of the terminal-pair.

For each resistor satisfying this document, the degree to which the AC parameters are significant will be related to the resistor's AC resistance class or AC/DC difference index, time constant index and to its frequency index.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022

Annex C (informative)

Equivalent circuits of an AC resistor

C.1 General

C.1.1 Two-element equivalent circuit of an AC resistor

Although the exact equivalent circuit of an AC resistor may not be useful or even obtainable, three-element equivalent circuits formed only of lumped resistive, capacitive and inductive elements can always be used to give an appropriate representation of the resistor as given by C.1.2. Alternatively, at a specified frequency, a graph of the real and imaginary components of the resistor as a function of frequency may be used to express the AC characteristics. For the purpose of this document, a simple characterization of the AC properties with two-elements as given by C.1.1, is employed to derive AC resistance and time constant as the criterion for assessing an AC resistor. Meanwhile, three-element equivalent circuits given by C.1.2 are used to characterize the AC properties of an AC resistor in a frequency range.

At a specified frequency, any resistor can be characterized either as an inductance in series with a resistance (the series representation), or as a capacitance in parallel with a resistance (the parallel representation).

These two cases may be expressed by:

$$\frac{U}{I} = R_s + j\omega L_s \quad (\text{C.1})$$

or

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R_p} + j\omega C_p \quad (\text{C.2})$$

where:

U = voltage appearing across the device when a current, I , flows through it;

R_s = equivalent series resistance;

R_p = equivalent parallel resistance;

L_s = equivalent series inductance;

C_p = equivalent parallel capacitance.

At any particular frequency, either the series or the parallel representation may be used to describe the properties of the resistor and to simulate the effect of that frequency. For any particular resistor, the representation which has a positive reactive component will, in nearly all cases, yield a model which is accurate at the stated frequency and which is a good approximation over the usable frequency range. Except in rare cases, the other representation is not physically realizable and provides a circuit model valid only at the stated frequency, having a negative reactive element, either the inductance (series model) or the capacitance (parallel model). In these latter models, the value of C_p or L_s has a large variation with frequency. Usually, the series model most accurately represents a low value resistor (Category A) and the parallel model a high value resistor (Category C).

A third characterization of the AC resistor is also in common use. This specifies the AC resistor characteristics as R and τ , a resistance and a time constant, but does not yield a simple circuit model as given by Formulae (C.1) and (C.2). The values of R and τ are not significantly affected by frequency throughout the frequency range by which the resistor is usable.

Since the three characterizations given here are equivalent at the specified frequency, the formulae which define them are not independent; they are related as follows:

$$R_p = R_s (1 + \omega^2 \tau^2) \approx R \quad (\text{C.3})$$

$$\frac{L_s}{R_s} = \tau \quad (\text{C.4})$$

or

$$R_p C_p = \tau \quad (\text{C.5})$$

Because, for a given resistor, at the specified frequency, the values of L_s and C_p will have opposite signs, the values of the time constant (τ) calculated from Formulae (C.4) and (C.5) will appear to have opposite signs but equal magnitudes. From such a pair of results, the positive sign is chosen. Time constant has a defined meaning in transient analysis in accordance with which a time constant cannot have a negative value for physically realizable passive components.

When it is necessary to connect two or more resistors in a network, the resultant behaviour is complicated and it is necessary to have recourse to network theory to determine the approximate resultant time constant.

The impedance Z is:

$$Z = R_s + j\omega L_s \quad (\text{C.6})$$

and its modulus is:

$$|Z| = R_s \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2} = \frac{R_p}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (\text{C.7})$$

for the respective series and parallel cases.

The admittance Y is:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R_p} + j\omega C_p \quad (\text{C.8})$$

and its modulus is:

$$|Y| = \frac{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}{R_p} = \frac{1}{R_s \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (\text{C.9})$$

The phase angle is:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega L_s}{R_s}\right) = \arctan(\omega C_p R_p) = \arctan(\omega \tau) \quad (\text{C.10})$$

When a resistor is provided with separate current and potential terminals, the equations given by Formulae (C.1) and (C.2) are here also applicable, U being the potential difference between the potential terminals due to a current I flowing between the current terminals.

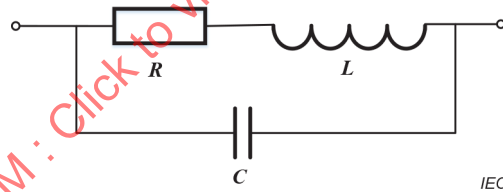
C.1.2 Three-element equivalent circuits

C.1.2.1 Overview

A three-element equivalent circuit of a AC resistor is given by either a lumped inductance L in series with a lumped resistance R and with a lumped capacitance C in parallel with its two connection ports, which is shown in Figure C.1, or a lumped capacitance C parallel in parallel with a lumped resistance R and with a lumped inductance L in series with its two connection ports, which is shown in Figure C.2. Usually, the former model (i.e. that of Figure C.1) most accurately represents a low value resistor (Category A) and the latter model (i.e. that of Figure C.2), a high value resistor (Category C).

C.1.2.2 Series representation

Figure C.1 gives the three-element equivalent circuit of an AC resistor in series representation.



Key

- R lumped resistance of the AC resistor
- L lumped inductance of the AC resistor
- C lumped capacitance of the AC resistor

Figure C.1 – The three-element equivalent circuit of an AC resistor (Category A)

The impedance Z is:

$$Z = \frac{(R + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \frac{R \left[1 + j\omega \left(\frac{L}{R} - CR - \omega^2 \frac{L^2 C}{R} \right) \right]}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2} \quad (\text{C.11})$$

and its modulus is:

$$|Z| = \frac{R}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2} \sqrt{1 + \omega^2 \left(\frac{L}{R} - CR - \omega^2 \frac{L^2 C}{R} \right)^2}$$

$$\approx \frac{R}{1 - 2\omega^2 LC + \omega^2 C^2 R^2} \sqrt{1 + \omega^2 \left(\frac{L}{R} - CR \right)^2} \quad (\text{when } \omega \ll \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}) \quad (\text{C.12})$$

where:

ω_0 = self-resonant frequency of resistor,

equivalent series resistance is:

$$R_S = \text{Re}(Z) = \frac{R}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2} \approx \frac{R}{1 - 2\omega^2 LC + \omega^2 C^2 R^2} \quad (\text{C.13})$$

equivalent series inductance is:

$$L_S = \frac{L - CR^2 - \omega^2 L^2 C}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2} \approx L - CR^2 \quad (\text{C.14})$$

Then the time constant τ is:

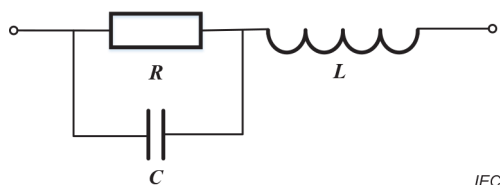
$$\tau = \frac{L}{R} - CR - \omega^2 \frac{L^2 C}{R} \approx \frac{L}{R} - CR \quad (\text{C.15})$$

the phase angle is:

$$\theta = \arctan(\omega\tau) \approx \arctan \left[\omega \left(\frac{L}{R} - CR \right) \right] \quad (\text{C.16})$$

C.1.2.3 Parallel representation

Figure C.2 gives the three-element equivalent circuit of an AC resistor in parallel representation.



IEC

Key

R lumped resistance of the AC resistor

L lumped inductance of the AC resistor

C lumped capacitance of the AC resistor

Figure C.2 – The three-element equivalent circuit of an AC resistor (Category C)

The admittance Y is:

$$Y = \frac{\left(\frac{1}{R} + j\omega C\right) \frac{1}{j\omega L}}{\frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L}} \quad (\text{C.17})$$

$$= \frac{1}{R \left[(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2 \right]} \left[1 + j\omega \left(CR - \frac{L}{R} - \omega^2 C^2 LR \right) \right] \quad (\text{C.18})$$

and its modulus is:

$$|Y| = \frac{1}{R \left[(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2 \right]} \sqrt{1 + \omega^2 \left(CR - \frac{L}{R} - \omega^2 C^2 LR \right)^2} \quad (\text{C.19})$$

$$\approx \frac{1}{R \left[1 - 2\omega^2 LC + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2 \right]} \sqrt{1 + \omega^2 \left(CR - \frac{L}{R} \right)^2} \quad (\text{when } \omega \ll \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}) \quad (\text{C.20})$$

equivalent parallel resistance is:

$$R_p = \text{Re}\left(\frac{1}{Y}\right) = R \left[(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2 \right] \approx R \left[1 - 2\omega^2 LC + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2 \right] \quad (\text{C.21})$$

equivalent parallel capacitance is:

$$C_p = \frac{C - \frac{L}{R^2} - \omega^2 C^2 L}{\left(1 - \omega^2 LC\right)^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2} \approx C - \frac{L}{R^2} \quad (\text{C.22})$$

Then the time constant τ is defined as:

$$\tau = \left(CR - \frac{L}{R} - \omega^2 C^2 LR \right) \approx CR - \frac{L}{R} \quad (\text{C.23})$$

the phase angle is:

$$\theta = \arctan(\omega\tau) \approx \arctan \left[\omega \left(CR - \frac{L}{R} \right) \right] \quad (\text{C.24})$$

A three-element equivalent circuit can be used to calculate the equivalent AC resistance and equivalent inductance (or equivalent capacitance) at different frequencies for data correction or other purposes.

C.2 Guard terminal

When a resistor is provided with an electric screen connected to a separate terminal (guard terminal, see Item b) and d) of 4.2, it can be represented, at a given frequency, by an equivalent delta network consisting of three impedances (or three admittances), one connected between the pair of main terminals and one between each main terminal and the guard terminal. The desired AC characteristics of the resistor are those of the impedance (or admittance) which is connected between the two main terminals. This represents the characteristics of the resistor when the effects of the impedances (or admittances) connected to the guard terminal are eliminated.

IECNORM.COM : Click to view the full text of IEC 60477-2:2022

Annex D (informative)

Construction of AC resistors

D.1 Construction and electrical definition of the impedance

The considerations of this Annex D apply equally to both AC and DC measurements. For DC measurements, replace "impedance" and "admittance" by "resistance" and "conductance", respectively.

The electrical definition (hereinafter referred to as "definition") is used to describe the impedance when the component is connected to the measurement circuit. The leads and connectors will affect the measurement uncertainty or the definition impedance of the component. The effect will be discussed in this Annex D. It is worth noting that the discussion is not complete and focuses only on the main influencing factors for construction classification.

D.2 Two-terminal resistor

This construction applies when the resistor has only two terminals as shown in Figure D.1. Stray inductances (L_s), lead resistances (R_l), and stray capacitance (C_0) between two leads affect the measurement uncertainty. Contact resistances (R_c) between the test fixture's electrodes and the resistor also affect the measurement uncertainty.

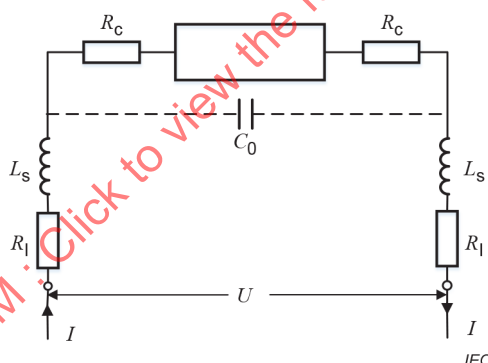


Figure D.1 – Two-terminal resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (\text{D.1})$$

D.3 Three-terminal resistor

This construction, as shown in Figure D.2, applies when the resistor has one more shield terminal than the two terminals of the two-terminal resistor, as shown in Figure D.1. The effect of stray capacitance is reduced. The guard terminal can be an independent terminal, or be connected to the outer shield conductors of the coaxial cables.

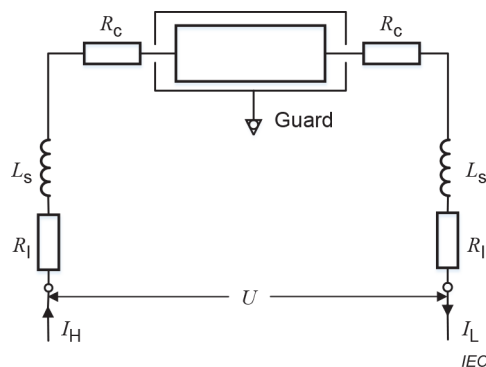


Figure D.2 – Three-terminal resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U}{I_L} \quad (\text{D.2})$$

D.4 Four-terminal resistor

This construction applies when the resistor has independent current terminals and potential terminals as shown in Figure D.3. The effect of stray inductances and contact resistances is reduced. The four-terminal configuration is also called Kelvin connection configuration.

When the current flowing through the current leads is large, external magnetic fields will be generated. The magnetic fields induce extra voltages in the adjacent voltage sensing leads. The induced voltage causes a measurement uncertainty in low impedance measurement.

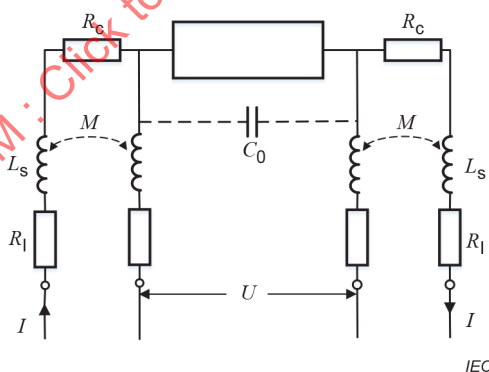


Figure D.3 – Four-terminal resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (\text{D.3})$$

D.5 Five-terminal resistor

This construction (as shown in Figure D.4) applies when the resistor has one more shield terminal than the four terminals of the four-terminal resistor (see Figure D.3).

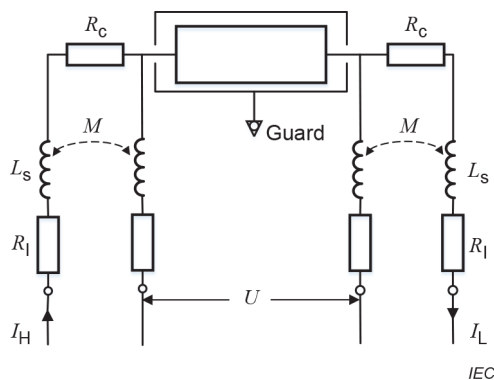


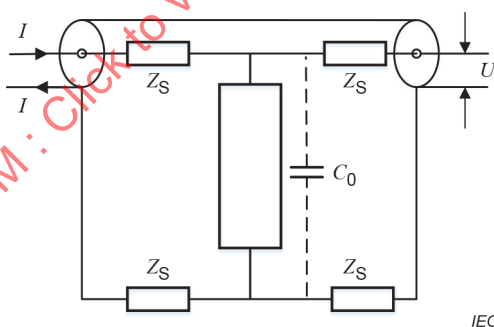
Figure D.4 – Five-terminal resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U}{I_L} \quad (\text{D.4})$$

D.6 Four-terminal coaxial resistor

This construction applies when the resistor has two terminal-pairs with the outer shield conductors working as the low terminal of current or potential shown in Figure D.5. It is formally identical to that of the four-terminal construction, but the physical arrangement of the terminals is altered to two terminal-pairs. The connecting cables can be properly current equalized, and hence, cable corrections can be made to measurements. The capacitance between inner and outer conductors of each coaxial cable shunts the resistor and gives it a phase angle error.



Key

Z_s lumped impedance of lead and connector

Figure D.5 – Four-terminal coaxial resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (\text{D.5})$$

D.7 Two-terminal-pair resistor

This construction applies when the resistor has two terminal-pairs with the outer shield conductors working as the return path for the signal current (not grounded) shown in Figure D.6. The currents into and out of the left-hand terminal-pair are equal since the total current leaving

the right-hand terminal-pair is zero. This type of resistor can be used only in circuits which are compatible with terminal-pair devices which return the current through the outer shield conductors of low current terminal-pair.

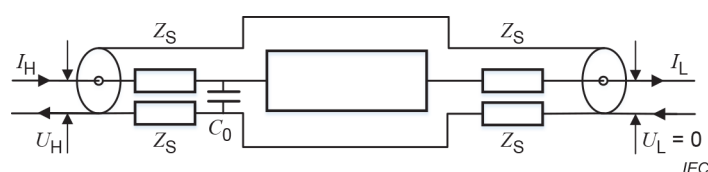


Figure D.6 – Two-terminal-pair resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U_H}{I_L} \quad (\text{D.6})$$

The effect of stray capacitance (C_0) and impedance of the high terminal-pair is reduced.

D.8 Four-terminal-pair resistor

This construction applies when the resistor has four terminal-pairs with the outer shield conductors working as the return path for the signal current (not grounded) to eliminate the effect of mutual coupling between the current and potential leads shown in Figure D.7. This type of resistor can be used only in circuits which are compatible with terminal-pair devices which return the current through the outer shield conductors of the low current terminal-pair. Furthermore, the remaining conditions can be fulfilled by simultaneously bringing a detector connected to the potential low terminal-pair to a null.

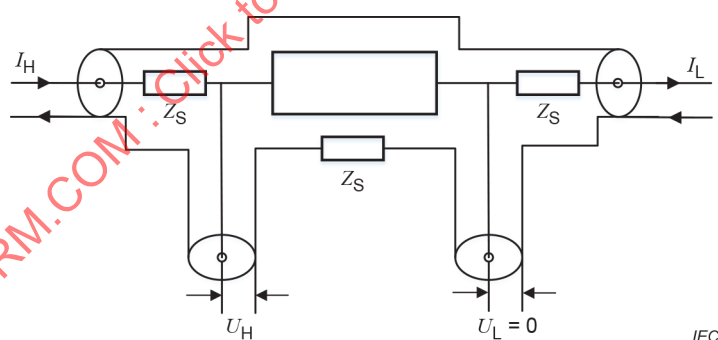


Figure D.7 – Four-terminal-pair resistor

The definition of impedance for the component is:

$$Z = \frac{U_H}{I_L} \quad (\text{D.7})$$

The effect of impedance of both sides of the current terminal-pair is reduced.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	30
1 Domaine d'application	32
2 Références normatives	32
3 Termes et définitions	32
4 Caractérisation et construction des résistances	35
4.1 Caractérisation des résistances	35
4.2 Construction des résistances	35
5 Exigences générales	35
5.1 Résistance en courant continu, résistance en courant alternatif et constante de temps	35
5.2 Résistances multiples	36
5.3 Résistance à commutateurs multiples	36
5.4 Conducteurs de liaison	37
5.5 Conditions pour la détermination des caractéristiques en courant continu et en courant alternatif	37
6 Variations admissibles	38
7 Autres exigences électriques et mécaniques	39
8 Informations, marquages et symboles	39
8.1 Informations	39
8.2 Marquages et symboles	39
Annexe A (informative) Exemples de marquages	40
A.1 Exemple de marquage d'une résistance à courant alternatif simple	40
A.2 Exemple de marquage d'une résistance à cinq commutateurs à courant alternatif	40
Annexe B (informative) Considérations générales sur les résistances de laboratoire à courant alternatif	42
Annexe C (informative) Circuits équivalents d'une résistance à courant alternatif	44
C.1 Généralités	44
C.1.1 Circuit équivalent à deux éléments d'une résistance à courant alternatif	44
C.1.2 Circuits équivalents à trois éléments	46
C.2 Borne d'écran	49
Annexe D (informative) Construction des résistances à courant alternatif	50
D.1 Construction et définition électrique de l'impédance	50
D.2 Résistance à deux bornes	50
D.3 Résistance à trois bornes	50
D.4 Résistance à quatre bornes	51
D.5 Résistance à cinq bornes	52
D.6 Résistance coaxiale à quatre bornes	52
D.7 Résistance à deux paires de bornes	53
D.8 Résistance à quatre paires de bornes	53
Figure A.1 – Exemple de marquage d'une résistance à courant alternatif simple	40
Figure A.2 – Exemple de marquage d'une résistance à cinq commutateurs	40
Figure C.1 – Circuit équivalent à trois éléments d'une résistance à courant alternatif (catégorie A)	46

Figure C.2 – Circuit équivalent à trois éléments d'une résistance à courant alternatif (catégorie C).....	48
Figure D.1 – Résistance à deux bornes	50
Figure D.2 – Résistance à trois bornes	51
Figure D.3 – Résistance à quatre bornes	51
Figure D.4 – Résistance à cinq bornes.....	52
Figure D.5 – Résistance coaxiale à quatre bornes	52
Figure D.6 – Résistance à deux paires de bornes	53
Figure D.7 – Résistance à quatre paires de bornes.....	53
Tableau 1 – Limites de l'incertitude relative de la résistance en courant alternatif	36
Tableau 2 – Limites de la différence entre le courant alternatif et le courant continu	36
Tableau 3 – Limite supérieure du domaine nominal d'utilisation en fréquence	38

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSISTANCES DE LABORATOIRE –

Partie 2: Résistances de laboratoire à courant alternatif

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60477-2 a été établie par le comité d'études 85 de l'IEC: Equipement de mesure des grandeurs électriques et électromagnétiques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1979 et l'Amendement 1:1997. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) extension du domaine de fréquences des résistances à courant alternatif à 1 MHz;
- b) mise à jour des termes et définitions conformément à la série IEC 60050;
- c) ajout de la définition de la différence entre le courant alternatif et le courant continu pour une résistance à courant alternatif;

- d) ajout de la classification des résistances en fonction de la résistance en courant alternatif ou à l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu;
- e) mise à jour de la classification en fonction de la construction des résistances à courant alternatif;
- f) mise à jour des symboles de sécurité et des exigences conformément à l'IEC 60477-1;
- g) ajout des circuits équivalents à trois éléments d'une résistance à courant alternatif à l'Annexe C;
- h) ajout de l'annexe relative aux constructions des résistances à courant alternatif.

Le texte de la présente Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
85/822/FDIS	85/825/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60477, publiées sous le titre général *Résistances de laboratoire*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera:

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

RÉSISTANCES DE LABORATOIRE –

Partie 2: Résistances de laboratoire à courant alternatif

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60477 s'applique aux résistances destinées à être utilisées comme résistances de laboratoire à courant alternatif dans un domaine de fréquences allant du courant continu jusqu'à une fréquence déclarée ne dépassant pas 1 MHz. Ces résistances sont, par la suite, désignées par l'expression "résistances à courant alternatif".

Les résistances qui, non seulement, satisfont aux exigences de l'IEC 60477-1, mais qui satisfont aussi aux exigences du présent document sont conçues de façon à avoir une variation de résistance faible et un déphasage faible dans le domaine de fréquences déclaré.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60477-1, *Résistances de laboratoire – Partie 1: Résistances de laboratoire à courant continu*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1

circuit électrique équivalent

circuit composé d'éléments de circuit idéaux, dont le comportement aux bornes ou aux accès est équivalent à celui d'un circuit ou dispositif électrique ou magnétique donné

Note 1 à l'article: Des circuits électriques équivalents peuvent aussi être utilisés pour représenter d'autres sortes de dispositifs ou phénomènes.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-15-07]

3.2

élément de circuit

en électromagnétisme, modèle mathématique d'un dispositif caractérisé par une ou plusieurs relations entre des grandeurs intégrales

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-03]

3.3**circuit équivalent d'une résistance à courant alternatif**

circuit électrique équivalent d'une résistance à courant alternatif

circuit électrique qui a les mêmes caractéristiques en courant alternatif qu'une résistance et qui aurait une impédance égale à la résistance dans des conditions de fonctionnement spécifiées

Note 1 à l'article: Il convient que les conditions de fonctionnement spécifiées comprennent la fréquence et la tension de service.

3.4**circuit équivalent à deux éléments d'une résistance à courant alternatif**

circuit équivalent d'une résistance à courant alternatif ayant deux éléments dans des conditions de fonctionnement spécifiées

Note 1 à l'article: Un circuit équivalent à deux éléments d'une résistance à courant alternatif est donné par soit une résistance équivalente en courant alternatif, R_s , en série avec une inductance équivalente, L_s , ou une résistance équivalente en courant alternatif, R_p , en parallèle avec une capacité équivalente, C_p (voir Annexe C).

3.5**circuit équivalent à trois éléments d'une résistance à courant alternatif**

circuit électrique équivalent à trois éléments d'une résistance à courant alternatif dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.6**résistance équivalente en courant alternatif d'une résistance à courant alternatif**
résistance en courant alternatif

valeur de la résistance (R_s ou R_p) qui est la composante résistive en courant alternatif de la résistance

Note 1 à l'article: En général, la résistance en courant alternatif est la résistance série équivalente, R_s , pour les résistances de la catégorie A, et la résistance parallèle équivalente, R_p , pour les résistances de la catégorie C (voir Annexe B).

3.7**paire de bornes**

accès constitué de deux bornes, tel que le courant électrique transféré d'un circuit ou dispositif extérieur vers l'une des bornes soit identique au courant transféré de l'autre borne vers le circuit ou dispositif extérieur

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-12-63]

3.8**constante de temps**

τ

temps τ dans l'expression $F(t) = A + Be^{-t/\tau}$ d'une grandeur F croissant ou décroissant exponentiellement en fonction du temps t vers une valeur constante A , or dans l'expression $F(t) = A + f(t)e^{-t/\tau}$ d'une oscillation amortie exponentiellement, où f est une fonction périodique du temps

Note 1 à l'article: La constante de temps d'une grandeur variable exponentiellement est la durée d'un intervalle de temps, au bout duquel la valeur absolue de la différence entre la grandeur et la limite a décru jusqu'à $1/e$ fois la valeur absolue de cette différence au début de l'intervalle de temps, où e est la base des logarithmes népériens.

Note 2 à l'article: Pour une résistance, à une fréquence particulière, la constante de temps est définie comme: L_s/R_s , ou R_p/C_p , selon le résultat qui donne une valeur positive (voir Annexe C). Pour déterminer la constante de temps, la résistance en courant continu peut être utilisée à la place de la résistance équivalente en courant alternatif.

Note 3 à l'article: Pour une résistance utilisant le circuit équivalent à trois éléments exprimé, la constante de temps est approximativement égale à: $\frac{L}{R} - CR$, ou $CR - \frac{L}{R}$ (voir Annexe C).

Note 4 à l'article: Le déphasage du courant qui parcourt la résistance par rapport à la tension aux bornes de cette résistance est tel que, pour une constante de temps de la forme L_s/R_s ou $\frac{L}{R} - CR$, il est en retard et que, pour une

constante de temps de la forme $R_p C_p$ ou $CR - \frac{L}{R}$, il est en avance, si, dans les deux cas L_s et C_p ont des valeurs positives, L_s et L étant exprimées en henrys, R_s , R_p et R en ohms et C_p et C en farads.

[SOURCE: IEC 60050-103:2009, 103-05-26, modifié – La Note 2 existante a été supprimée et de nouvelles Note 2, Note 3 et Note 4 à l'article ont été ajoutées pour adapter le terme à l'utilisation pour la technologie de résistance à courant alternatif.]

3.9

indice de constante de temps

désignation conventionnelle d'une constante de temps, par un nombre ou par un symbole

Note 1 à l'article: Dans le présent document, la constante de temps est exprimée en secondes en utilisant le préfixe SI approprié.

3.10

différence entre le courant alternatif et le courant continu

<pour une résistance à courant alternatif> différence entre la résistance équivalente en courant alternatif à une fréquence donnée et la résistance en courant continu, exprimée en pourcentage (%) de la résistance en courant continu

3.11

indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu

nombre désignant la limite de la différence entre le courant alternatif et le courant continu dans le domaine nominal d'utilisation en fréquence, exprimé en pourcentage

3.12

indice de fréquence

nombre désignant la limite supérieure du domaine nominal d'utilisation en fréquence, exprimée en hertz en utilisant le préfixe SI approprié

3.13

effet pelliculaire

effet de peau

pour un courant électrique alternatif dans un conducteur, phénomène selon lequel la densité de courant est plus grande près de la surface qu'à l'intérieur du conducteur

Note 1 à l'article: L'effet pelliculaire augmente la résistance et diminue l'inductance d'un conducteur en fonction de la fréquence du courant électrique.

Note 2 à l'article: L'effet pelliculaire se produit aussi dans le cas plus général de tout courant variable en fonction du temps.

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-13-18]

3.14

inductance résiduelle

valeur de l'inductance mesurée entre les points de connexion d'une résistance à courant alternatif, multiple ou à commutateurs multiples, ayant un dispositif de commutateur à position de zéro lorsque tous les organes de commutation sont mis sur la position zéro

4 Caractérisation et construction des résistances

4.1 Caractérisation des résistances

Les résistances à courant alternatif qui satisfont aux exigences du présent document sont caractérisées:

- a) par les classes de précision en courant continu spécifiées dans l'IEC 60477-1;
- b) par les classes de résistance équivalente en courant alternatif, spécifiées en 5.1, ou les indices de différence entre le courant alternatif et le courant continu, spécifiés en 5.1; et
- c) par les indices de constante de temps spécifiés en 5.1; et
- d) par les indices de fréquence, spécifiés à l'Article 6.

4.2 Construction des résistances

En raison de l'influence sur les propriétés en courant alternatif des inductances et des capacités parasites, des courants de Foucault, des effets d'absorption diélectrique et de l'effet pelliculaire, les résistances à courant alternatif considérées dans le présent document sont classées selon leur construction (voir Annexe D), comme suit:

- a) les résistances à deux bornes dont chacune des bornes est destinée à la fois au courant et au potentiel;
- b) les résistances à trois bornes qui, par rapport aux résistances à deux bornes, possèdent en plus une borne d'écran (parfois aussi appelée borne de garde) reliée à l'écran électrique afin de réduire l'influence des capacités parasites;
- c) les résistances à quatre bornes qui ont des bornes de courant et des bornes de potentiel indépendantes afin de réduire les inductances parasites et les résistances de contact;
- d) les résistances à cinq bornes qui, par rapport aux résistances à quatre bornes, possèdent en plus une borne d'écran;
- e) les résistances coaxiales à quatre bornes qui ont deux paires de bornes et dont les conducteurs extérieurs d'écran servent de borne de courant ou de potentiel à courant faible;
- f) les résistances à deux paires de bornes qui ont deux paires de bornes et dont les conducteurs extérieurs d'écran servent de circuit de retour pour le signal de courant (non relié à la terre);
- g) les résistances à quatre paires de bornes qui ont quatre paires de bornes et dont les conducteurs extérieurs d'écran servent de circuit de retour pour le courant de signal (non relié à la terre) pour éliminer l'influence du couplage parasite entre les conducteurs d'amenée de courant et de prise de potentiel.

5 Exigences générales

5.1 Résistance en courant continu, résistance en courant alternatif et constante de temps

Les caractéristiques en courant continu d'une résistance à courant alternatif doivent être comme spécifié dans l'IEC 60477-1.

La résistance équivalente en courant alternatif d'une résistance à courant alternatif caractérisée par une classe liée à la résistance en courant alternatif doit satisfaire aux limites de l'incertitude relative spécifiées pour leur indice de classe de résistance en courant alternatif indiqué dans le Tableau 1 lors de l'étalonnage initial.

Tableau 1 – Limites de l'incertitude relative de la résistance en courant alternatif

Indice de classe de résistance en courant alternatif	0,000 01	0,000 02	0,000 05	...	2	5	10
Limites d'incertitude relative pour la résistance en courant alternatif	0,000 01 %	0,000 02 %	0,000 05 %	...	2 %	5 %	10 %
NOTE La valeur de la résistance en courant alternatif d'une résistance donnée dépend légèrement de la fréquence à laquelle elle est mesurée. Cependant, comme le but ici est de classer les résistances à courant alternatif, des mesures effectuées à 1 kHz (ou à une fréquence plus basse) suffisent en général.							

La différence entre le courant alternatif et le courant continu d'une résistance à courant alternatif caractérisée par l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu doit satisfaire aux limites de la différence entre le courant alternatif et le courant continu spécifiées pour leur indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu indiqué dans le Tableau 2 lors de l'étalonnage initial.

Tableau 2 – Limites de la différence entre le courant alternatif et le courant continu

Indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu	0,000 001	0,000 002	0,000 005	...	0,2	0,5	1
Limites de la différence entre le courant alternatif et le courant continu	±0,000 001 %	±0,000 002 %	±0,000 005 %	...	±0,2 %	±0,5 %	±1 %
NOTE Les mesures effectuées à 1 kHz (ou à une fréquence plus basse) suffisent en général.							

Pour une résistance à courant alternatif, il faut choisir entre l'indice de classe de résistance en courant alternatif et l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu pour représenter le caractère de la résistance en courant alternatif.

La constante de temps d'une résistance à courant alternatif ne doit pas dépasser la valeur appropriée de l'indice de constante de temps sélectionné dans la séquence suivante:

- 1 ns, 2 ns, 5 ns, 10 ns, à 100 µs.

NOTE La valeur de la constante de temps d'une résistance donnée dépend légèrement de la fréquence à laquelle elle est mesurée. Les mesures effectuées à 1 kHz (ou à une fréquence plus basse) suffisent en général tout comme les mesures de la résistance en courant alternatif.

5.2 Résistances multiples

Les résistances multiples, à l'exclusion des résistances à commutateurs multiples, peuvent avoir un indice de classe de résistance en courant alternatif ou un indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu et un indice de constante de temps différents pour chacune des valeurs réalisables.

Si la valeur nominale de la résistance minimale réalisable d'une résistance multiple est nulle, le constructeur doit indiquer la valeur de l'inductance résiduelle dans cette condition.

5.3 Résistance à commutateurs multiples

Les résistances à commutateurs multiples doivent avoir un indice de classe de résistance en courant alternatif ou un indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu et un seul indice de constante de temps pour toutes les valeurs réalisables avec un commutateur

quelconque utilisé seul. Les différents commutateurs peuvent avoir un indice de classe de résistance en courant alternatif ou un indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu et un indice de constante de temps différents.

L'indice de classe de résistance en courant alternatif ou l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu d'un commutateur donné doit s'appliquer également à toute valeur affichée par ce commutateur lorsque ce dernier est utilisé en combinaison avec une valeur quelconque d'un ou de plusieurs commutateurs de valeur inférieure.

L'indice de constante de temps d'un commutateur donné doit s'appliquer également à toute valeur affichée par ce commutateur lorsque ce dernier est utilisé en combinaison avec une valeur quelconque d'un ou de plusieurs commutateurs de valeur inférieure.

5.4 Conducteurs de liaison

Les connexions des circuits de courant et de potentiel doivent être établies séparément lorsque la résistance a une paire de bornes pour chaque point de connexion, sauf si le constructeur définit d'autres conditions. Les inductances mutuelles entre les conducteurs d'amenée de courant et de prise de potentiel et entre chacun de ces conducteurs et la résistance doivent être réduits le plus possible.

Les conducteurs établissant la connexion à une résistance ayant une seule borne pour chaque point de connexion doivent être disposés de façon à réduire le plus possible leur inductance.

NOTE 1 Cette disposition s'applique particulièrement aux résistances de valeur inférieure ou égale à 10 Ω .

Les conducteurs établissant la connexion à une résistance ne doivent pas affecter de manière significative la capacité parallèle équivalente; si besoin est, prévoir un écran pour chaque conducteur et utiliser un circuit de mesure approprié.

NOTE 2 La valeur de la capacité entraînant une altération significative dépend de la valeur de la résistance et de la constante de temps.

5.5 Conditions pour la détermination des caractéristiques en courant continu et en courant alternatif

Toutes les déterminations de caractéristiques en courant continu doivent être effectuées selon les spécifications de l'IEC 60477-1.

NOTE Aux basses fréquences, l'incertitude d'une résistance à courant alternatif est essentiellement la même que son incertitude en courant continu.

Aux hautes fréquences, une variation additionnelle, telle qu'elle est spécifiée à l'Article 6, est admise.

Toutes les déterminations de caractéristiques en courant alternatif doivent être effectuées dans les conditions de référence spécifiées dans l'IEC 60477-1.

La résistance en courant alternatif d'une résistance à courant alternatif doit être mesurée à la fréquence de 1 kHz ou à la fréquence correspondant à son indice de fréquence, si celle-ci est inférieure à 1 kHz (voir Article 6).

La constante de temps d'une résistance à courant alternatif doit être mesurée à la fréquence de 1 kHz ou à la fréquence correspondant à son indice de fréquence, si celle-ci est inférieure à 1 kHz (voir Article 6).

L'inductance résiduelle d'une résistance à courant alternatif (voir 5.2) doit être mesurée avec la résistance connectée comme en utilisation normale, à la fréquence de 1 kHz ou à la fréquence correspondant à son indice de fréquence, si celle-ci est inférieure à 1 kHz (voir Article 6).

Une résistance équipée d'une borne d'écran [voir points b) et d) en 4.2] doit être soumise à essai avec l'écran connecté suivant les indications du constructeur.

Une résistance non équipée d'une borne d'écran [voir points a) et c) en 4.2] doit être soumise à essai enfermée dans une enveloppe conductrice reliée à la terre conformément aux spécifications du constructeur. Si cette enveloppe n'est pas spécifiée, la résistance doit être soumise à essai enfermée dans une enceinte conductrice reliée à la terre et séparée en tous points de la surface de la résistance d'une distance comprise entre 10 mm et 20 mm.

Une résistance équipée de paires de bornes [voir points e), f) et g) en 4.2] doit être soumise à essai avec la paire de bornes connectée suivant les indications du constructeur.

Toutes les autres conditions nécessaires doivent être déclarées par le constructeur.

Si nécessaire, les détails de la méthode d'essai doivent être fixés d'un commun accord entre le constructeur et l'utilisateur.

6 Variations admissibles

Les variations des grandeurs d'influence, dans les domaines nominaux d'utilisation spécifiés dans l'IEC 60477-1, n'ont pas d'effets notables sur la caractéristique en courant alternatif de la résistance. C'est pourquoi les exigences relatives aux variations des caractéristiques en courant alternatif autres que celles dues à la fréquence ne figurent pas dans le présent document.

La limite supérieure du domaine nominal d'utilisation en fréquence doit être définie en utilisant l'indice de fréquence approprié choisi dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Limite supérieure du domaine nominal d'utilisation en fréquence

Indice de fréquence	1 M	500 k	200 k	...	500	200	100	50
Limite supérieure du domaine nominal d'utilisation en fréquence	1 MHz	500 kHz	200 kHz	...	500 Hz	200 Hz	100 Hz	50 Hz

Lorsque la résistance à courant alternatif est placée dans les conditions de référence spécifiées dans l'IEC 60477-1 l'incertitude relative de la résistance en courant alternatif pour une fréquence quelconque de son domaine nominal d'utilisation ne doit pas dépasser l'incertitude relative de la résistance en courant alternatif admissible (voir 5.1), ou la différence entre le courant alternatif et le courant continu pour une fréquence quelconque de son domaine nominal d'utilisation ne doit pas dépasser la différence entre le courant alternatif et le courant continu admissible (voir 5.1).

Les résistances multiples, à l'exception des résistances à commutateurs multiples, peuvent avoir des indices de fréquence différents pour chaque valeur réalisable.

Les résistances à commutateurs multiples doivent avoir un seul indice de fréquence pour toutes les valeurs réalisables d'un commutateur quelconque utilisé seul. Les différents commutateurs peuvent avoir chacun un indice de fréquence différent. L'indice de fréquence d'un commutateur donné doit s'appliquer également à toute combinaison dans laquelle ce commutateur est utilisé conjointement avec un ou plusieurs commutateurs de valeur inférieure.

Conditions pour la détermination des variations dues à la fréquence:

- les conducteurs de liaison doivent être disposés comme spécifié en 5.4;

- si nécessaire, les détails de la méthode d'essai doivent être fixés d'un commun accord entre le constructeur et l'utilisateur.

7 Autres exigences électriques et mécaniques

Les résistances à courant alternatif doivent satisfaire aux autres exigences électriques et mécaniques spécifiées dans l'IEC 60477-1.

Le constructeur doit spécifier la ou les méthodes de connexion de l'écran, le cas échéant.

Le constructeur doit indiquer si les caractéristiques sont données dans le mode de représentation équivalente série ou parallèle (voir 3.4), suivant le cas (voir note en 3.6).

8 Informations, marquages et symboles

8.1 Informations

En plus des marquages exigés par l'IEC 60477-1 (sauf pour ceux qui sont mentionnés en 8.2 du présent document), les résistances à courant alternatif doivent également porter des marquages représentant l'indice de classe de résistance en courant alternatif ou l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu, l'indice de constante de temps et l'indice de fréquence.

L'indice de classe de résistance en courant alternatif ou l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu doivent être marqués en utilisant la valeur appropriée choisie parmi l'ensemble des valeurs données dans le Tableau 1 ou le Tableau 2 (voir en 5.1) à la suite de "Résistance en courant alternatif" ou "Différence entre le courant alternatif et le courant continu".

L'indice de constante de temps doit être marqué en utilisant la valeur appropriée choisie parmi l'ensemble des valeurs données en 5.1 suivie de "s".

L'indice de fréquence doit être marqué en utilisant la valeur appropriée choisie dans le Tableau 3 suivie de "Hz".

Si la valeur nominale de la résistance minimale réalisable d'une résistance multiple est nulle, la valeur de l'inductance résiduelle dans cette condition (voir 5.2) doit être marquée.

8.2 Marquages et symboles

Les marquages (voir Annexe A) de l'indice de classe de résistance en courant alternatif ou de l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu, de l'indice de constante de temps et l'indice de fréquence spécifiés en 8.1 doivent être portés sur une plaque signalétique ou sur l'enveloppe et doivent suivre le marquage de la classe de précision en courant continu (spécifiée dans l'IEC 60477-1) sur une même ligne ou sur des lignes successives et dans l'ordre défini en 8.1.

Le marquage de l'inductance résiduelle spécifié en 8.1 doit être porté sur une plaque signalétique ou sur l'enveloppe et doit suivre le marquage de la valeur de la résistance résiduelle (spécifiée dans l'IEC 60477-1).

Au lieu du marquage "Résistance de laboratoire à courant continu" (voir 9.2 de l'IEC 60477-1:2022), les résistances à courant alternatif doivent être marquées "Résistance de laboratoire à courant continu/alternatif". Cette inscription peut être faite dans n'importe quelle langue.

Annexe A (informative)

Exemples de marquages

A.1 Exemple de marquage d'une résistance à courant alternatif simple

La Figure A.1 représente un exemple de marquage d'une résistance à courant alternatif simple.

Résistance de laboratoire à courant continu/alternatif NN					
1 Ω	0,002	Différence entre le courant alternatif et le courant continu			
		0,002	100 ns	10 kHz	
0 ... 0,1 W ... 1 W					
15 °C ... <u>23 °C</u> ... 25 °C					
N° 000 000					
				CAT II	Degré de pollution I

IEC

Figure A.1 – Exemple de marquage d'une résistance à courant alternatif simple

Ce marquage indique que l'indice de constante de temps est 100 ns. Cela signifie que la constante de temps mesurée à 1 kHz ne dépasse pas 100 ns. La valeur de la constante de temps ne varie pas notablement dans le domaine nominal d'utilisation en fréquence.

De même, le domaine de fréquences s'étend du courant continu à 10 kHz. Cela indique que la variation de la résistance équivalente en courant alternatif pour les fréquences allant du courant continu à 10 kHz ne dépasse pas 0 002 % de la valeur nominale.

Pour les autres marquages, voir l'IEC 60477-1.

A.2 Exemple de marquage d'une résistance à cinq commutateurs à courant alternatif

La Figure A.2 représente un exemple de marquage d'une résistance à cinq commutateurs à courant alternatif.

Résistance de laboratoire à courant continu/alternatif NN					
	10 × 1 000	100	10	1	0,1 Ω
Différence entre	0,01	0,02	0,02	0,1	0,2
le courant alternatif	0,005	0,01	0,01	0,02	0,05
et le courant continu	100 ns	100 ns	1 μ s	10 μ s	100 μ s
	10 kHz	10 kHz	5 kHz	200 Hz	100 Hz
0 W ... 0,5 W ... 1 (2) W pour chaque échelon					
15 °C ... <u>23 °C</u> ... 25 °C					
$R_0 = (5 \pm 0,5) \text{ m}\Omega$					
$L_0 = (7 \pm 0,5) \mu\Omega$					
N° 000 000					
				CAT II	Degré de pollution I

IEC

Figure A.2 – Exemple de marquage d'une résistance à cinq commutateurs

Ce marquage indique que l'inductance résiduelle (tous les commutateurs étant sur la position zéro) est de $(7 \pm 0,5) \mu\text{H}$.

Les nombres donnés dans la troisième ligne de la Figure A.2 (suivant "Différence entre le courant alternatif et le courant continu") indiquent que la différence entre le courant alternatif et le courant continu ne dépasse pas $\pm 0,05 \%$ pour toute fréquence inférieure ou égale à 100 Hz sur le commutateur de $0,1 \Omega$, $\pm 0,02 \%$ à 200 Hz sur le commutateur de 1Ω , $\pm 0,01 \%$ à 5 kHz sur le commutateur de 10Ω , $\pm 0,01 \%$ à 10 kHz sur le commutateur de 100Ω et $\pm 0,005 \%$ à 10 kHz sur le commutateur de $1\,000 \Omega$.

Les nombres donnés en ns et en μs indiquent que la constante de temps ne dépasse pas 100 μs pour toute fréquence inférieure ou égale à 100 Hz sur le commutateur de $0,1 \Omega$, 10 μs à 200 Hz sur le commutateur de 1Ω , 1 μs à 5 kHz sur le commutateur de 10Ω et 100 ns à 10 kHz sur les autres commutateurs.

Cependant, comme la constante de temps ne varie pas notablement dans le domaine nominal d'utilisation en fréquence, elle est mesurée à 1 kHz ou à la fréquence correspondant à l'indice de fréquence, si celle-ci est plus faible (voir note en 5.1).

Les nombres précédant le symbole "Hz" sont les indices de fréquence. Ces indices indiquent que la variation de la résistance équivalente en courant alternatif de chaque commutateur ne dépasse pas, pour toute fréquence inférieure ou égale à la limite supérieure du domaine nominal d'utilisation en fréquence (désignée par l'indice de fréquence approprié), les limites de la différence entre le courant alternatif et le courant continu correspondant à l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu respectif.

La signification de ces deux indications "ns (μs)" et "Hz" s'étend également à toute combinaison obtenue en utilisant le commutateur correspondant conjointement avec un ou plusieurs commutateurs de rang inférieur.

Pour les autres marquages, voir l'IEC 60477-1.

Annexe B (informative)

Considérations générales sur les résistances de laboratoire à courant alternatif

Le présent document sur les résistances à courant alternatif a été établi pour être utilisé conjointement avec l'IEC 60477-1 et s'applique aux résistances destinées à être utilisées en courant alternatif aussi bien qu'en courant continu.

Les résistances à courant alternatif, outre le fait qu'elles couvrent une plage importante de valeurs, par exemple d'une dizaine de milliohms à un mégohm, sont conçues pour des domaines de fréquences largement différents; les unes peuvent être utilisées seulement à 50 Hz ou 60 Hz, tandis que d'autres sont susceptibles d'être utilisées comme résistances de laboratoire aux fréquences radioélectriques les plus basses. Une limite supérieure de 1 MHz a été fixée pour les besoins du présent document. Les exigences pour ces applications variées ont été incorporées dans le présent document.

Les propriétés d'une résistance en courant alternatif sont essentiellement d'une nature subtile et complexe, mais la présente norme reste simple. La caractéristique la plus descriptive à employer pour qualifier une résistance à courant alternatif est la fréquence jusqu'à laquelle elle fonctionne en résistance entre des limites spécifiées d'incertitude ou de variations sur la valeur de la résistance et celle du déphasage. En utilisant la fréquence comme paramètre fondamental de classification des résistances à courant alternatif, il est devenu possible de préparer une norme simple dans un large domaine.

Bien que le déphasage soit la grandeur importante pour l'utilisation d'une résistance, il est plus commode de spécifier la constante de temps, puisque celle-ci ne dépend pas, ou très peu, de la fréquence.

Selon leurs valeurs, les résistances à courant alternatif peuvent être divisées en trois catégories données dans la liste ci-après. Cependant, il n'a pas été jugé nécessaire d'introduire ces divisions dans le présent document, mais seulement de spécifier les caractéristiques et les conditions nécessaires et suffisantes.

- Catégorie A
Valeurs faibles, par exemple inférieures à environ 100 Ω . Les effets inductifs et les courants de Foucault sont prédominants.
- Catégorie B
Valeurs intermédiaires entre les catégories A et C. Les effets signalés dans la catégorie A aussi bien que dans la catégorie C sont probablement significatifs.
- Catégorie C
Valeurs élevées, par exemple supérieures à 1 000 Ω . Les effets capacitifs sont habituellement prédominants.

Les résistances de la catégorie A peuvent avoir deux ou quatre bornes, ou quatre paires de bornes. Il est nécessaire que la résistance ait quatre bornes ou quatre paires de bornes si l'incertitude la plus faible sur l'inductance aussi bien que sur la résistance des conducteurs de liaison est recherchée. Il est nécessaire que la résistance ait quatre paires de bornes si l'incertitude la plus faible sur le couplage parasite entre les conducteurs d'amenée de courant et de prise de potentiel est recherchée.

Les résistances de la catégorie B peuvent être facilement conçues de façon que l'incertitude sur l'inductance provenant de la connexion des conducteurs soit négligeable. De même, l'effet dû à l'incertitude sur la capacité peut être rendu négligeable.

Les résistances de la catégorie C, aussi bien que les résistances de valeurs élevées de la catégorie B, doivent être équipées d'un écran ou utiliser les connecteurs à paires de bornes quand la constante de temps est exigée avec grande précision.

Les résistances ayant un écran électrique indépendant peuvent être utilisées uniquement dans des circuits compatibles avec les dispositifs à borne de garde.

Les résistances du type à paires de bornes peuvent être utilisées uniquement dans des circuits compatibles avec les dispositifs à paires de bornes dont le retour de courant se fait par les conducteurs extérieurs d'écran des paires de bornes.

Pour toute résistance satisfaisant au présent document, le degré d'importance des paramètres est, en courant alternatif, lié à l'indice de classe de résistance en courant alternatif ou l'indice de différence entre le courant alternatif et le courant continu de la résistance, à son indice de constante de temps et à son indice de fréquence.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60477-2:2022

Annexe C (informative)

Circuits équivalents d'une résistance à courant alternatif

C.1 Généralités

C.1.1 Circuit équivalent à deux éléments d'une résistance à courant alternatif

Bien qu'il soit souvent inutile ou même impossible d'obtenir le circuit équivalent exact d'une résistance à courant alternatif, il est toujours possible d'utiliser des circuits équivalents à trois éléments formés seulement d'éléments localisés résistifs, capacitifs et inductifs pour donner une représentation convenable de la résistance, telle que donnée en C.1.2. Une représentation graphique de ses composantes réelles et imaginaires en fonction de la fréquence peut également être utilisée à une fréquence spécifiée pour exprimer les caractéristiques en courant alternatif. Pour les besoins du présent document, une représentation simple des propriétés en courant alternatif à deux éléments, telle que donnée en C.1.1, est utilisée pour calculer la résistance en courant alternatif et la constante de temps pour qualifier une résistance à courant alternatif. Parallèlement, les circuits équivalents à trois éléments, tels que donnés en C.1.2, sont utilisés pour caractériser les propriétés en courant alternatif d'une résistance à courant alternatif dans un domaine de fréquences.

A une fréquence donnée, une résistance peut être représentée soit par une inductance en série avec une résistance, c'est la représentation série, soit par une capacité en parallèle avec une résistance, c'est la représentation parallèle.

Ces deux cas peuvent être traités au moyen des relations suivantes:

$$\frac{U}{I} = R_s + j\omega L_s \quad (\text{C.1})$$

ou

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R_p} + j\omega C_p \quad (\text{C.2})$$

où:

U = tension existant entre les bornes du dispositif quand elle est traversée par un courant I ;

R_s = résistance série équivalente;

R_p = résistance parallèle équivalente;

L_s = inductance série équivalente;

C_p = capacité parallèle équivalente.

A une fréquence donnée, soit la représentation série, soit la représentation parallèle, peuvent être utilisées pour décrire les propriétés de la résistance et simuler l'effet de la fréquence. Pour une résistance donnée, la représentation qui a une composante réactive positive fournit, dans presque tous les cas, un modèle qui est précis à la fréquence considérée et qui donne une bonne approximation dans tout le domaine de fréquences utilisable. Sauf dans des cas rares, l'autre représentation n'est pas réalisable physiquement et fournit des modèles de circuits valables seulement à la fréquence considérée. Cette représentation a un élément réactif négatif, soit l'inductance (modèle série), soit la capacité (modèle parallèle). Dans ces derniers modèles, la valeur de C_p ou L_s varie fortement avec la fréquence. En général, le modèle série représente