

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Method of measurement of current noise generated in fixed resistors

Méthode pour la mesure du bruit produit en charge par les résistances fixes



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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 Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Method of measurement of current noise generated in fixed resistors

Méthode pour la mesure du bruit produit en charge par les résistances fixes

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.040.10

ISBN 978-2-8322-3272-9

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 Method of measurement	7
4.1 Noise basics	7
4.1.1 Noise	7
4.1.2 Thermal noise	8
4.1.3 Current noise	8
4.2 Measurement principle	9
4.3 Measurement system	10
4.3.1 Proposal of a suitable measuring system	10
4.3.2 Alternative measuring systems	11
4.4 Measurement system requirements	11
4.4.1 Input circuit.....	11
4.4.2 Isolation resistor R_M	12
4.4.3 DC voltage source	12
4.4.4 DC electronic voltmeter	12
4.4.5 Calibration resistor R_{Cal}	12
4.4.6 Calibration source	13
4.4.7 Determination of the calibration voltage	13
4.4.8 AC band-pass amplifier	15
4.4.9 AC r.m.s. meter.....	16
4.4.10 Test fixture	16
4.5 Verification of the measuring system	17
4.5.1 Performance check by measurement of instrument and thermal noise	17
4.5.2 Performance check by comparison of repeated measurements.....	17
5 Measurement procedure	18
5.1 Ambient conditions	18
5.2 Preparation of specimen.....	18
5.3 Procedure	18
5.3.1 General	18
5.3.2 Calibration	18
5.3.3 Measurement of system noise S	18
5.3.4 Measurement of total noise T	19
5.4 Precautions.....	22
6 Evaluation of measurement results.....	22
6.1 Term for the contribution of system noise	22
6.2 Determination of the current-noise index A_1	24
6.3 Determination of the current-noise voltage ratio CNR_U	25
6.4 Accuracy.....	26
6.5 Requirements.....	26
7 Information to be given in the relevant component specification	26
Annex A (informative) Letter symbols and abbreviations	27
A.1 Letter symbols	27

A.2 Abbreviations	27
Annex X (informative) Cross-reference for references to the prior revision of this standard	28
Bibliography	29
Figure 1 – Block schematic of a suitable measuring system	11
Figure 2 – Typical transfer function of the band-pass amplifier	16
Figure 3 – Contribution of system noise, $f(T - S)$	23
Table 1 – Permissible limits of system noise	17
Table 2 – Recommended operating conditions (1 of 2)	20
Table 3 – Numeric values of the contribution of system noise, $f(T - S)$	24
Table X.1 – Cross reference for references to the 1 st edition of this standard	28

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHOD OF MEASUREMENT OF CURRENT
NOISE GENERATED IN FIXED 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.

International Standard IEC 60195 has been prepared by IEC technical committee 40: Capacitors and resistors for electronic equipment.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1965 and constitutes a technical revision.

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

- harmonization of the allocation of isolation resistors R_M in the recommended operating conditions given in Table 2;
- correction of erroneous numeric values of the contribution of system noise, $f(T - S)$ in Table 3;
- addition of advice on the prescription of requirements in a relevant component specification;
- addition of a set of recommended measuring conditions for specimens with a rated dissipation of less than 100 mW;

- complete editorial revision.

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

FDIS	Report on voting
40/2431/FDIS	40/2458/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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

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

METHOD OF MEASUREMENT OF CURRENT NOISE GENERATED IN FIXED RESISTORS

1 Scope

This International Standard specifies a method of measurement and associated test conditions to assess the "noisiness", or magnitude of current noise, generated in fixed resistors of any given type. The method applies to all classes of fixed resistors. The aim is to provide comparable results for the determination of the suitability of resistors for use in electronic circuits having critical noise requirements.

The current noise in resistive materials reflects the granular structure of the resistive material. For some resistor technologies utilizing homogenous layers it is regarded as providing an indication of defects, which are considered as a root cause for abnormal ageing of the component under the influence of temperature and time.

The method described in this International Standard is not a general specification requirement and therefore is applied if prescribed by a relevant component specification, or, if agreed between a customer and a manufacturer.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

3 Terms and definitions

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

3.1

current-noise

combination of all random fluctuations of current flow in a resistor which are not attributed to thermal agitation of the charge carriers (thermal noise) and which depend on the applied direct current

3.2

current-noise index

A_1

logarithmic index of the ratio of the open circuit r.m.s. current-noise voltage in a frequency decade, in μV , over the d.c. voltage applied under test, in V, used to express the "noisiness" of an individual resistor

Note 1 to entry: The current-noise index is expressed in dB. The ratio between μV and V is not considered in this index, leading to its value being 120 dB less than the mathematical current-noise index A_1' . This practical index follows the history of prior revisions of this method.

3.3

mathematical current-noise index

 A_1'

logarithmic index of the ratio of the open circuit r.m.s. current-noise voltage in a frequency decade over the d.c. voltage applied under test, established in consistent units and their multiples

Note 1 to entry: The mathematical current-noise index is expressed in dB. This index has been introduced for the mathematical derivation of the considered parameters.

3.4

current-noise voltage ratio

 CNR_U

ratio of the open circuit r.m.s. current-noise voltage in a frequency decade over the d.c. voltage applied under test, established in $\mu\text{V}/\text{V}$, used to express the “noisiness” of an individual resistor

3.5

flicker noise

pink noise

random fluctuation present in most electronic devices and typically related to internal properties of the respective device, which depends on direct current and has a power spectral density inversely proportional to the frequency

3.6

noise

random fluctuation in an electrical signal having instantaneous amplitude values which, due to their distribution in a random manner, can only be predicted in terms of probability statements

3.7

shot noise

random fluctuation in electric current due to the flowing current consisting of discrete charges, which is independent of temperature and has nearly constant power spectral density throughout the frequency spectrum

3.8

thermal noise

random fluctuation generated by the thermal agitation of the charge carriers (usually the electrons) inside an electrical conductor at equilibrium, which is independent of any applied voltage and has nearly constant power spectral density throughout the frequency spectrum

Note 1 to entry: Thermal noise is also referred to as Johnson noise or as Nyquist noise.

4 Method of measurement

4.1 Noise basics

4.1.1 Noise

Noise appears as a spontaneous fluctuating voltage $e_n(t)$ with instantaneous amplitude values.

Noise voltage is a statistically independent random variable, where for most kinds of noise the frequency distribution of amplitudes follows a Gaussian distribution curve. Therefore noise voltage cannot be predicted except in terms of probability statements.

Usually the characteristic of principal interest is not the instantaneous amplitude value but the “time-averaged” value.

The measurement of amplitude commonly used and adopted for this International Standard is the effective (r.m.s.) voltage E_n observed in a particular frequency pass-band.

4.1.2 Thermal noise

The thermal noise of a resistor is a fluctuating voltage caused by the random motion of thermally agitated charges, which is present in all resistors. The root mean-square value of the fluctuating voltage appearing at the open-circuit terminals of a resistor, which would be indicated by the measuring system, may be calculated using Nyquist's equation:

$$E_{th} = \sqrt{e_{th}^2} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f}$$

where

E_{th} is the effective voltage (r.m.s. voltage) of the thermal noise in a given bandwidth;

e_{th} is the momentary voltage of the thermal noise in a given bandwidth;

k is the Boltzmann constant, $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$ J/K;

T is the absolute temperature;

R is the resistance;

Δf is the bandwidth of the effective band-pass filter of the measuring system.

The presence of thermal noise cannot be ignored because the thermal noise of the resistor under test is frequently a major source of interference in the measurement.

4.1.3 Current noise

The presence of direct current in a fixed resistor causes an increase in the observed total noise above the level attributed to thermal noise. Regardless of its originating nature, this excess noise is referred to as current noise.

$$E_t^2 = E_{th}^2 + E_c^2$$

where

E_t is the effective voltage of the total noise in a given bandwidth;

E_{th} is the effective voltage of the thermal noise in a given bandwidth;

E_c is the effective voltage of the current noise in a given bandwidth.

Hence, the current noise is the geometric difference between the total noise and the thermal noise

$$E_c^2 = E_t^2 - E_{th}^2$$

The effective current-noise voltage per 1 Hz bandwidth is substantially inversely proportional to frequency

$$[e(f)]^2 \sim \frac{I^2}{f}$$

where

$e(f)$ is the momentary voltage of the current noise as a function of frequency;

I is the d.c. current passing through the resistor;

f is the frequency for which the current noise voltage is considered.

The effective current noise voltage for a given bandwidth is calculated by integrating the current noise voltage over the frequency band

$$\begin{aligned} E_c^2 &= \int_{f_1}^{f_2} [e(f)]^2 df \\ &\sim \int_{f_1}^{f_2} \frac{I^2}{f} df \\ &\sim I^2 \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \end{aligned}$$

where

E_c is the effective voltage of the current noise in a given bandwidth;

f_1 is the lower cut-off frequency of the ideal band-pass;

f_2 is the upper cut-off frequency of the ideal band-pass.

If the mean-square voltage is inversely proportional to frequency, then ideal rectangular pass-bands having equal ratios of upper to lower band-pass limits transmit equal amounts of noise voltage from a given noise source.

A resistor exhibiting current noise may be represented as a noise source having a zero-impedance current-noise voltage generator connected in series with an independent thermal-noise voltage generator and with a noise-free resistor.

4.2 Measurement principle

The current noise voltage E_c is, in general, closely proportional to the applied d.c. test voltage U_T . It is recommended, however, to apply a harmonized set of operating conditions in order to ensure the most comparable measurements for all resistors.

Table 2 gives a set of operating conditions recommended for the testing of resistors with resistances in the range of 100 Ω to 22 M Ω . The values given therein also avoid overloading the specimen and the input circuit.

The frequency dependence of noise voltages requires the prescription of a frequency pass-band to be used in this measurement, which is an ideal rectangular pass-band of one frequency decade, geometrically centered at 1 000 Hz.

The measurement results in the mathematical current noise index in a frequency decade, A_1' , as follows:

$$A_1' = 20 \lg \left(\frac{E_c'}{U_T} \right) \text{ dB}$$

where

E_c' is the effective open circuit current-noise voltage in a frequency decade, given in V;

U_T is the d.c. voltage applied to the resistor under test, given in V.

The typical magnitude of the current-noise voltage being in the microvolt range rather than in a volt range is reflected in the prevalent current noise index in a frequency decade, A_1 ,

$$A_1 = 20 \lg \left(\frac{E_C}{U_T} \right) \text{ dB}$$

where

E_C is the effective open circuit current-noise voltage in a frequency decade, given in μV ;

U_T is the d.c. voltage applied to the resistor under test, given in V.

The ratio between μV and V, which results in an offset of 120 dB, is neglected in the traditional definition of the current noise index A_1 , hence the following relationship applies:

$$A_1 = A_1' - 120 \text{ dB}.$$

Since the current-noise power spectrum approximates to a $1/f$ frequency characteristic, the index and the ratio provides an estimate of current noise in any frequency decade.

4.3 Measurement system

4.3.1 Proposal of a suitable measuring system

Figure 1 shows a block schematic of a suitable measuring system.

A three-position switch may be used to access any of the three modes of operation normally followed in the measurement procedure:

- calibration;
- measurement of system noise;
- measurement of total noise.

The input circuit consists of the resistor under test R_T , the isolation resistor R_M and the calibration resistor R_{Cal} , where the isolation resistor R_M is required to reduce the shunting effect of the d.c. supply system on the noise generated in the resistor under test.

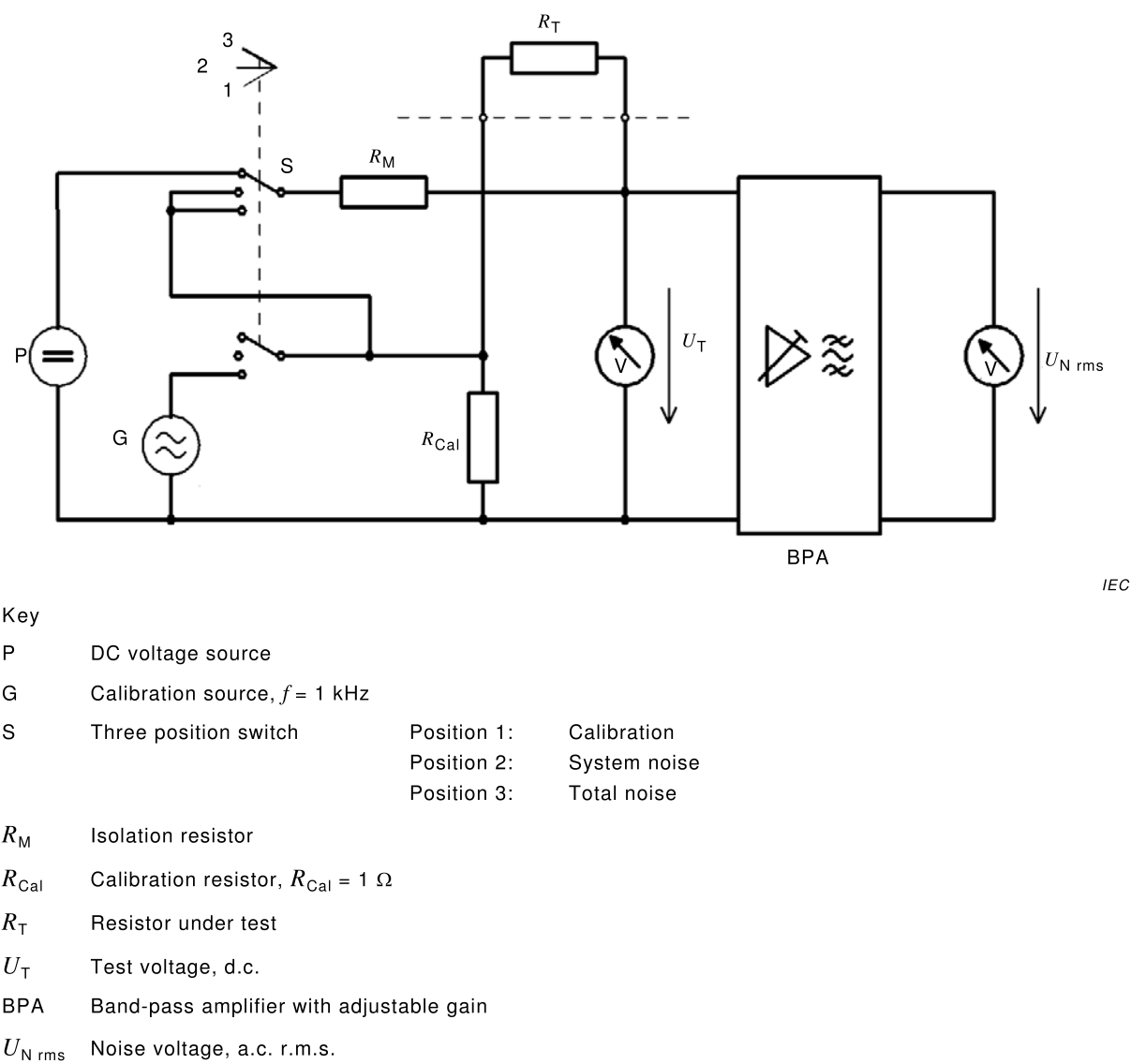


Figure 1 – Block schematic of a suitable measuring system

The following content of this International Standard refers to this suitable measuring system, unless otherwise specified.

4.3.2 Alternative measuring systems

The proposal of a measuring system in 4.3.1 intends to unify the test and measurement procedures used for the assessment of the current noise generated in fixed resistors. This system, however, is not necessarily the only system which can be used, except when specifically designated as referee or reference methods.

The provider and user of any alternative measuring system shall demonstrate that such system will give results equivalent to those obtained by the proposed system.

4.4 Measurement system requirements

4.4.1 Input circuit

The input impedance of the measurement system is influenced by the impedance of the d.c. electronic voltmeter, which is in parallel with the isolation resistor R_M and also with the resistor under test, and thereby attenuates the noise signal generated in the specimen.

The input impedance of the d.c. electronic voltmeter shall meet the impedance requirement given in 4.4.4 in order to avoid any detrimental influence on the measurement.

4.4.2 Isolation resistor R_M

A number of current noise free isolation resistors R_M will be needed to cover the range of resistance values of the specimen, which may be switched into the circuit as required. The isolation resistor shall be current noise-free (for example, good quality wirewound resistors). Each isolation resistor shall have a rated dissipation of at least 1 W and the resistance tolerance shall be $\pm 1\%$.

At least four isolation resistors R_M are required if the range of specimen resistance extends from 100 Ω to 22 M Ω . Examples for suitable values of R_M are 1 k Ω ; 10 k Ω ; 100 k Ω and 1 M Ω . These values are used for establishing the test conditions in Table 2.

4.4.3 DC voltage source

The d.c. voltage source shall be capable of supplying a suitable range of voltages, which depends on the specimen resistance R_T , on the required test voltage U_T , and on the isolation resistor R_M . The adjusted d.c. test voltage shall be maintained sufficiently stable throughout a measurement.

Table 2 provides recommended operating conditions for the specimen resistance R_T in the range from 100 Ω to 22 M Ω , leading to test voltages U_T in the range from 2,2 V to 250 V. In order to achieve this, the d.c. voltage source is required to provide a voltage adjustable in the range of 14 V through 500 V.

There may be some hum and noise interference introduced by the d.c. voltage source when it drives a current through the resistor under test. The influence of this on the observed noise index shall not exceed 0,5 dB, when the connected test resistor is known not to generate any current noise itself (e.g. a good quality wirewound or metal foil resistor).

4.4.4 DC electronic voltmeter

The voltmeter used for measuring the d.c. test voltage U_T shall have a constant impedance of at least 4 M Ω in the frequency range from 0 Hz to 1 600 Hz.

The meter, in conjunction with a step attenuator, shall be capable of indicating the required d.c. test voltages with an accuracy of $\pm 3\%$. The time constant shall be less than 0,5 s.

The meter shall support the reading of the d.c. test voltage U_T in volt, and the reading of the d.c. test voltage index D in dB, which is determined by

$$D = 20 \lg \left(\frac{U_T}{1 \text{ V}} \right) \text{ dB}$$

There may be some interference introduced by the voltmeter when it is connected to the input circuit. The influence of this on the observed noise index shall not exceed 0,2 dB.

4.4.5 Calibration resistor R_{Cal}

The calibration resistor R_{Cal} shall meet the following specification details:

$$\begin{aligned} R_{Cal} &= 1,00 \Omega \\ P_r &\geq 0,5 \text{ W} \end{aligned}$$

The calibration resistor shall be selected for the lowest possible generation of current noise (e.g. a good quality wirewound or metal foil resistor).

4.4.6 Calibration source

The calibration source shall be a stable sine-wave generator with a fixed frequency within the range of 980 Hz to 1 020 Hz. Its output shall supply a voltage across the calibration resistor R_{Cal} , which is adjustable within a range from 0,6 mV to 0,7 mV, where the actual required calibration voltage is determined in 4.4.7. The stability of the adjusted calibration voltage shall be better than $\pm 2\%$.

The calibration source is connected to the measuring system only in calibration mode.

4.4.7 Determination of the calibration voltage

The calibration voltage U_{Cal} is determined to produce a noise meter reading equal to that produced by a current-noise voltage having an r.m.s. value of 1 mV in a frequency decade.

In 4.1.3 it has been shown that the effective current noise voltage depends of the d.c. current and of the cut-off frequencies of the ideal band-pass like

$$E_c^2 \sim I^2 \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)$$

where

E_c is the effective voltage of the current noise in a given bandwidth;

I is the d.c. current passing through the resistor;

f_1 is the lower cut-off frequency of the ideal band-pass;

f_2 is the upper cut-off frequency of the ideal band-pass.

For a frequency decade and an ideal band-pass the relationship of the two cut-off frequencies is

$$f_2 = 10 f_1$$

For the considered reference condition with

$$E_c = 1 \text{ mV}$$

the above relationship is

$$(1 \text{ mV})^2 \sim I^2 \ln(10)$$

where

I is the d.c. current passing through the resistor.

For this method an ideal band-pass filter of 1 kHz bandwidth, geometrically centered at 1 kHz shall be used, with a lower cut-off frequency $f_1 = 618 \text{ Hz}$ and an upper cut-off frequency $f_2 = 1\,618 \text{ Hz}$, see 4.4.8.

For this condition applies

$$E_c = U_{\text{Cal}}$$

and hence the above relationship is

$$(U_{\text{Cal}})^2 \sim I^2 \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)$$

where

U_{Cal} is the calibration voltage required to achieve a 1 mV per frequency decade reading;

I is the d.c. current passing through the resistor;

f_1 is the lower cut-off frequency of the ideal band-pass;

f_2 is the upper cut-off frequency of the ideal band-pass.

Dividing $(U_{\text{Cal}})^2$ by $(1 \text{ mV})^2$ results in

$$\frac{(U_{\text{Cal}})^2}{(1 \text{ mV})^2} = \frac{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{\ln(10)}$$

and finally in the determination of the calibration voltage as

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{\ln(10)}} \times 1 \text{ mV}$$

For practical use this equation may be simplified to

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{A} \cdot 0,659 \text{ mV}$$

where

A is a non-dimensional value representing the area under the pass-band curve

$$A = \ln \frac{f_2}{f_1}$$

where

f_1 is the lower cut-off frequency of the ideal band-pass;

f_2 is the upper cut-off frequency of the ideal band-pass.

For the prescribed ideal band-pass filter of 1 kHz bandwidth, geometrically centered at 1 kHz, the calculation results in $A_i = 0,962$.

Hence, for this case the required calibration voltage is

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{0,962} \times 0,659 \text{ mV} = 0,646 \text{ mV}$$

For any particular non-ideal band-pass filter, value A can be computed as follows.

- a) The voltage gain is measured throughout the pass-band of the system versus frequency, where the voltage gain is the ratio of the output voltage, as indicated by the output meter, to the input voltage, applied across the terminals of the calibration resistor.
- b) The power gain is calculated by squaring of the voltage gain for each frequency.
- c) Each power gain value is divided by its respective frequency and plotted against frequency in a linear diagram.
- d) The area under the resulting curve is planimetrically measured to give the value A for the respective non-ideal band-pass filter, where the accuracy of this determination shall be within $\pm 2,5$ % of the result.

Where there is the result of a numerical simulation available of the gain over frequency of a designed band-pass filter, with the gain typically given in dB, the procedure described above can be executed numerically, e.g. using a calculation spreadsheet.

The resulting value A should be close to the result for an ideal band-pass, $A_i = 0,962$.

NOTE The numerical determination of the area under the pass-band shown in Figure 2 results in a value $A = 0,959$, which leads to a required calibration voltage $U_{Cal} = 0,645$ mV.

The calibration source shall be adjusted to provide the r.m.s. voltage U_{Cal} at the terminals of the calibration resistor R_{Cal} with a relative accuracy of better than ± 2 %.

4.4.8 AC band-pass amplifier

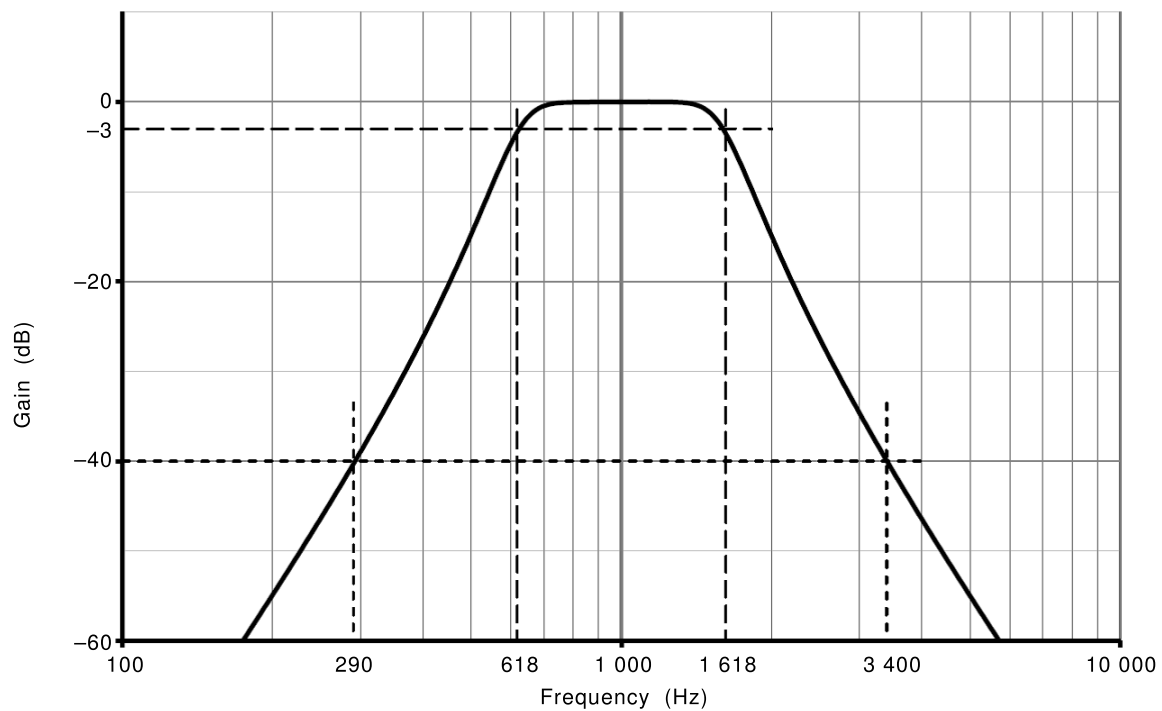
The amplifier gain shall be sufficient to measure circuit noise with the input terminals shorted and with the adjustable gain control, described below, set near its minimum gain position.

In a verification with $R_M \geq 100$ k Ω and no d.c. current present, the circuit noise shall be no greater than that equivalent to the thermal noise of a 6,2 k Ω resistor. Therefore, the increase in the output reading when the short is replaced by a resistor of 6,2 k Ω with a relative tolerance of ± 5 % shall be at least 3 dB with the gain control setting kept unchanged.

The amplifier shall be capable of measuring input signals up to 650 μ V. This signal amplitude gives a scale reading of approximately 60 dB when the system is calibrated.

A continuously adjustable gain control shall be provided for maintaining a fixed overall system gain which would otherwise vary with input conditions listed in Table 2. The necessary gain control range is approximately 33 dB.

The pass-band shall be flat, shall have a fixed half-power pass-band of approximately 1 000 Hz within the limits ± 50 Hz and shall be geometrically centered at 1 000 Hz ± 50 Hz. Ripple in the flat top of the pass-band shall not exceed $\pm 0,2$ dB. Figure 2 shows the transfer function of a band-pass meeting these requirements.



IEC

Figure 2 – Typical transfer function of the band-pass amplifier

These requirements shall be satisfied for all measurement conditions listed in Table 2. Neither the area under the pass-band, A , as determined in 4.4.7, nor the half-power pass-band shall vary with respect to measurement condition by more than $\pm 4\%$ for any recommended measurement condition. Compliance at $100\ \Omega$ and at $22\ \text{M}\Omega$ is considered sufficient.

The a.c. amplifier shall respond to noise signals without introducing a significant error due to clipping. This requires the dynamic range to extend at least 10 dB beyond the indicated a.c. r.m.s. value.

4.4.9 AC r.m.s. meter

The a.c. measuring system shall be calibrated in dB from $-20\ \text{dB}$ to at least $+60\ \text{dB}$ with $0\ \text{dB}$ being $1\ \mu\text{V}$ in a frequency decade. The accuracy of the a.c. r.m.s. meter shall be $\pm 0,4\ \text{dB}$. The time constant shall be in the range of $0,8\ \text{s}$ to $1,5\ \text{s}$.

4.4.10 Test fixture

The test fixture for the resistor under test, R_T , shall be capable of providing a safe electrical connection and sufficient shielding from any external fields.

The lead-to-lead and lead-to-ground capacitances of the resistor under test in its test fixture and of the leads to the input of the band-pass amplifier shall be minimized, e.g. by the use of short leads, adequate spacing and careful mounting.

Good shielding practice shall be adopted in the construction of the measurement system. The input circuit operates at extremely low signal levels, which makes it necessary that all parts and leads in the input circuit be very well shielded. Components carrying large signals should not be located near the input circuit.

4.5 Verification of the measuring system

4.5.1 Performance check by measurement of instrument and thermal noise

It is recommended to verify the performance of the measurement system by checking the level of system noise, including thermal noise, without involving any specimen.

For a measurement system as proposed in 4.3, the following procedure should be applied:

- turn the function switch to “calibration” and short-circuit the terminals for the specimen R_T ;
- adjust the gain of the band-pass amplifier to the calibrate line on the a.c. r.m.s. meter;

NOTE The calibration line typically is a line centred on the a.c. r.m.s. meter scale. With the measuring system set in calibration mode the meter is connected without an attenuator network.

- turn the function switch to “system noise” and read the noise index S_k ;
- remove the short circuit from the terminals for the specimen R_T ;
- read the noise index S_o for each isolation resistor R_M .

The readings of the noise index should fall within the limits given in Table 1, unless other recommendations are given for a specific measuring system.

Table 1 – Permissible limits of system noise

R_M	R_T	Permissible limits of system noise reading dB
Any	Short circuit	$S_k \leq -5$ dB
1 k Ω	None, terminals open	-9 dB $\leq S_o \leq -4,5$ dB
10 k Ω	None, terminals open	-5 dB $\leq S_o \leq -2$ dB
100 k Ω	None, terminals open	5 dB $\leq S_o \leq 7,5$ dB
1 M Ω	None, terminals open	14 dB $\leq S_o \leq 18$ dB
The first two readings are essentially measurements of the noise in the amplifier, while the last two readings are essentially measurements of thermal noise of R_M in the pass-band of the instrument. The third reading is influenced by both factors.		

There may be different performance check procedures and permissible limits prescribed for practical realizations of the measurement system proposed in 4.3.1, or for alternative measuring systems as suggested in 4.3.2.

4.5.2 Performance check by comparison of repeated measurements

It is recommended to verify the performance of the measurement system by checking the current noise of specific resistor specimens after repeated measurements.

A practical means of monitoring the stability of the measurement system is to keep a record of the measurements made on a set of specific control resistors, where it is desirable for the set of control resistors to consist of different types of resistors and to represent a large range of resistance and current-noise values.

Plotting the data against time in the form of a control chart for each specimen is suggested as a simple and effective means for detecting any irregularity within the measurement system.

5 Measurement procedure

5.1 Ambient conditions

The measurement shall preferably be made under standard atmosphere for referee measurements and test as given in IEC 60068-1:2013, 4.2.

- Temperature: 23 °C ± 2 °C
- Relative humidity: 45 % to 55 %
- Air pressure: 86 kPa to 106 kPa

A relevant specification may prescribe other ambient conditions for this measurement.

NOTE The generally applied standard atmospheric conditions for testing with their wider permissible temperature range are not recommendable for this test due to the influence of temperature on the measurement, e.g. by means of thermal noise.

5.2 Preparation of specimen

The specimen shall be stored at the ambient conditions prescribed in 5.1 for at least 24 h before a measurement is made.

5.3 Procedure

5.3.1 General

The measurement system shall be stored at the ambient conditions prescribed in 5.1 for at least 24 h before a measurement is made.

The complete operation consists of three consecutive steps:

- a) calibration;
- b) measurement of system noise;
- c) simultaneous measurement of total noise and of the d.c. voltage across the specimen.

Considerable saving of time can be achieved when groups of similar resistors are to be measured by taking advantage of the stability of the particular test equipment. The intervals with which the calibration and system noise measurements shall be repeated will be dependent on the stability of the equipment and on the accuracy required.

5.3.2 Calibration

The resistor to be tested, R_T , shall be inserted into the test fixture, and the appropriate isolation resistor R_M shall be switched into the circuit. The allocation given in Table 2 shall apply, unless other provisions are made by the relevant specification.

With the measuring system set into configuration for calibration, the isolation resistor R_M is connected to ground instead of to the d.c. voltage source, and the 1 000 Hz calibration voltage is connected to the calibration resistor R_{Cal} .

The gain control of the band-pass amplifier shall be adjusted so that the noise voltage meter indicates +60 dB, or its equivalent 1 mV, in a frequency decade.

5.3.3 Measurement of system noise S

The connection of the specimen R_T and of the isolation resistor R_M shall remain as set in 5.3.2.

With the measuring system configured to measure system noise, the isolation resistor R_M is connected to ground instead of to the d.c. voltage source, and the calibration resistor R_{Cal} is disconnected from the calibration voltage.

The system noise index S is read on the noise voltage meter after a minimum delay of 5 s, allowing the meter to reach a representative mean value.

5.3.4 Measurement of total noise T

The connection of the specimen R_T and of the isolation resistor R_M shall remain as set in 5.3.2.

With the measuring system configured to measure total noise, the isolation resistor R_M is connected to the d.c. voltage source in order to pass a current through the resistor under test, R_T . The calibration resistor R_{Cal} is disconnected from the calibration voltage.

The d.c. voltage U_T shall be set according to the prescription given in Table 2, unless other provisions are made by the relevant specification, e.g. in consideration of the dissipation rating of a particular style of resistors. For values of R_T not contained in Table 2, it is suitable to apply the parameters for the next lower given value.

The d.c. test voltage index D , is read on the d.c. voltmeter, and the total noise index T is read on the noise voltage meter after a minimum delay of 5 s, allowing the meter to reach a representative mean value.

Table 2 – Recommended operating conditions (1 of 2)

R_T	R_M	$P_r \geq 0,5 \text{ W}$			$0,5 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
		U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW
100 Ω	1,0 k Ω	3,2	10,0	100	3,2	10,0	100	2,2	7,0	50
120 Ω	1,0 k Ω	3,8	11,6	120	3,5	10,8	100	2,4	7,8	50
150 Ω	1,0 k Ω	4,7	13,5	150	3,9	11,8	100	2,7	8,8	50
180 Ω	1,0 k Ω	5,7	15,1	180	4,2	12,6	100	3,0	9,5	50
220 Ω	1,0 k Ω	7,0	16,8	220	4,7	13,4	100	3,3	10,4	50
270 Ω	1,0 k Ω	8,2	18,3	250	5,2	14,3	100	3,7	11,3	50
330 Ω	1,0 k Ω	9,1	19,2	250	5,7	15,2	100	4,1	12,2	50
390 Ω	1,0 k Ω	9,9	19,9	250	6,2	15,9	100	4,4	12,9	50
470 Ω	1,0 k Ω	10,8	20,7	250	6,9	16,7	100	4,8	13,7	50
560 Ω	1,0 k Ω	11,8	21,5	250	7,5	17,5	100	5,3	14,5	50
680 Ω	1,0 k Ω	13,0	22,3	250	8,2	18,3	100	5,8	15,3	50
820 Ω	1,0 k Ω	14,3	23,1	250	9,1	19,1	100	6,4	16,1	50
1,0 k Ω	1,0 k Ω	15,8	24,0	250	10,0	20,0	100	7,1	17,0	50
1,2 k Ω	1,0 k Ω	17,3	24,8	250	11,0	20,8	100	7,7	17,8	50
1,5 k Ω	1,0 k Ω	19,4	25,7	250	12,2	21,8	100	8,7	18,8	50
1,8 k Ω	1,0 k Ω	21,2	26,5	250	13,4	22,6	100	9,5	19,5	50
2,2 k Ω	1,0 k Ω	23,5	27,4	250	14,8	23,4	100	10,5	20,4	50
2,7 k Ω	10 k Ω	26,0	28,3	250	16,4	24,3	100	11,6	21,3	50
3,3 k Ω	10 k Ω	28,7	29,2	250	18,2	25,2	100	12,8	22,2	50
3,9 k Ω	10 k Ω	31,2	29,9	250	19,7	25,9	100	14,0	22,9	50
4,7 k Ω	10 k Ω	34,3	30,7	250	21,7	26,7	100	15,3	23,7	50
5,6 k Ω	10 k Ω	37,4	31,5	250	23,7	27,5	100	16,7	24,5	50
6,8 k Ω	10 k Ω	41,2	32,3	250	26,1	28,3	100	18,4	25,3	50
8,2 k Ω	10 k Ω	45,3	33,1	250	28,6	29,1	100	20,2	26,1	50
10 k Ω	10 k Ω	50,0	34,0	250	31,6	30,0	100	22,4	27,0	50
12 k Ω	10 k Ω	54,8	34,8	250	34,6	30,8	100	24,5	27,8	50
15 k Ω	10 k Ω	61,2	35,7	250	38,7	31,8	100	27,4	28,8	50
18 k Ω	10 k Ω	67,1	36,5	250	42,4	32,6	100	30,0	29,5	50
22 k Ω	10 k Ω	74,2	37,4	250	46,9	33,4	100	33,2	30,4	50
27 k Ω	100 k Ω	82,2	38,3	250	52,0	34,3	100	36,7	31,3	50
33 k Ω	100 k Ω	90,8	39,2	250	57,4	35,2	100	40,6	32,2	50
39 k Ω	100 k Ω	98,7	39,9	250	62,4	35,9	100	44,2	32,9	50
47 k Ω	100 k Ω	108	40,7	250	68,6	36,7	100	48,5	33,7	50
56 k Ω	100 k Ω	118	41,5	250	74,8	37,5	100	52,9	34,5	50
68 k Ω	100 k Ω	130	42,3	250	82,5	38,3	100	58,3	35,3	50
82 k Ω	100 k Ω	143	43,1	250	90,6	39,1	100	64,0	36,1	50

Table 2 (2 of 2)

R_T	R_M	$P_r \geq 0,5 \text{ W}$			$0,5 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
		U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW
100 k Ω	100 k Ω	158	44,0	250	100	40,0	100	70,7	37,0	50
120 k Ω	100 k Ω	173	44,8	250	110	40,8	100	77,5	37,8	50
150 k Ω	100 k Ω	194	45,7	250	122	41,8	100	86,6	38,8	50
180 k Ω	100 k Ω	212	46,5	250	134	42,6	100	94,9	39,5	50
220 k Ω	100 k Ω	235	47,4	250	148	43,4	100	105	40,4	50
270 k Ω	100 k Ω	250	48,0	231	164	44,3	100	116	41,3	50
330 k Ω	100 k Ω	250	48,0	189	182	45,2	100	129	42,2	50
390 k Ω	100 k Ω	250	48,0	160	197	45,9	100	140	42,9	50
470 k Ω	100 k Ω	250	48,0	133	217	46,7	100	153	43,7	50
560 k Ω	100 k Ω	250	48,0	112	237	47,5	100	167	44,5	50
680 k Ω	100 k Ω	250	48,0	92	250	48,0	92	184	45,3	50
820 k Ω	100 k Ω	250	48,0	76	250	48,0	76	202	46,1	50
1,0 M Ω	100 k Ω	250	48,0	63	250	48,0	63	224	47,0	50
1,2 M Ω	100 k Ω	250	48,0	52	250	48,0	52	245	47,8	50
1,5 M Ω	100 k Ω	250	48,0	42	250	48,0	42	250	48,0	42
1,8 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	35	250	48,0	35	250	48,0	35
2,2 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	28	250	48,0	28	250	48,0	28
2,7 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	23	250	48,0	23	250	48,0	23
3,3 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	19	250	48,0	19	250	48,0	19
3,9 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	16	250	48,0	16	250	48,0	16
4,7 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	13	250	48,0	13	250	48,0	13
5,6 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	11	250	48,0	11	250	48,0	11
6,8 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	9,2	250	48,0	9,2	250	48,0	9,2
8,2 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	7,6	250	48,0	7,6	250	48,0	7,6
10 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	6,3	250	48,0	6,3	250	48,0	6,3
12 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	5,2	250	48,0	5,2	250	48,0	5,2
15 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	4,2	250	48,0	4,2	250	48,0	4,2
18 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	3,5	250	48,0	3,5	250	48,0	3,5
22 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	2,8	250	48,0	2,8	250	48,0	2,8

The values for this table are established under the following prerequisites:

- The voltage to be provided by the internal d.c. voltage source shall not exceed 400 V.
- The voltage U_T at the resistor specimen shall not exceed 250 V.
- The dissipation on the isolation resistor R_M shall not exceed 1 W.
- The allocation of isolation resistors R_M to specimen resistance R_T shall apply to all specimen styles.

Key

P_r is the rated dissipation of the resistor specimen under test

R_T is the resistance of the resistor specimen under test

R_M is the isolation resistor

U_T is the d.c. voltage applied to the specimen

D is the d.c. test voltage index, $D = 20 \lg (U_T / 1 \text{ V})$ dB

P_T is the power dissipated in the specimen

5.4 Precautions

Reasonable precautions such as are commonly associated with sensitive measurements should be followed when operating the test set. The operating location should be free of strong magnetic and electric fields and of sources of electro-magnetic radiation. Ordinarily, it need not be operated in a screened room. The location should be free from strong mechanical vibrations and from sources of loud sound. These precautions are mentioned to serve as a guide in selecting suitable locations. The suitability of a location can be determined by comparing test set performance in the selected location with that obtained in a "quiet" location. Usually, sources of interference are readily identifiable.

6 Evaluation of measurement results

6.1 Term for the contribution of system noise

The total noise voltage is the geometric sum of the system noise voltage and the current-noise voltage of the resistor under test

$$E_t^2 = E_s^2 + E_c^2$$

where

E_t is the effective total noise voltage in a given bandwidth;

E_s is the effective system noise voltage in a given bandwidth;

E_c is the effective current noise voltage in a given bandwidth.

NOTE For practical reasons, these noise voltages are generally given in μV .

This equation can be rearranged for E_c

$$E_c^2 = E_t^2 - E_s^2$$

Each noise voltage can be replaced by a term based on its logarithmic index,

$$C = 20 \lg \left(\frac{E_c}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB} \quad \text{hence} \quad E_c = 10^{\left(\frac{C}{20 \text{ dB}} \right)} \times 1 \mu\text{V}$$

$$T = 20 \lg \left(\frac{E_t}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB} \quad \text{hence} \quad E_t = 10^{\left(\frac{T}{20 \text{ dB}} \right)} \times 1 \mu\text{V}$$

$$S = 20 \lg \left(\frac{E_s}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB} \quad \text{hence} \quad E_s = 10^{\left(\frac{S}{20 \text{ dB}} \right)} \times 1 \mu\text{V}$$

where

C is the logarithmic index of the current noise voltage, scaled at 0 dB = 1 μV ;

T is the logarithmic index of the total noise voltage, scaled at 0 dB = 1 μV ;

S is the logarithmic index of the system noise voltage, scaled at 0 dB = 1 μV .

This leads to the equation

$$\left(10^{\frac{C}{20 \text{ dB}}}\right)^2 = \left(10^{\frac{T}{20 \text{ dB}}}\right)^2 - \left(10^{\frac{S}{20 \text{ dB}}}\right)^2$$

Solving this equation for C and isolating T results in the following expression,

$$C = T + 10 \lg \left(1 - 10^{-\left[\frac{T-S}{10 \text{ dB}}\right]} \right) \text{ dB}$$

which permits to isolate a term for the contribution of system noise in relationship to the total noise, $f(T-S)$

$$C = T - f(T - S).$$

This function of the difference between total noise and system noise itself hence is defined as

$$f(T - S) = -10 \lg \left(1 - 10^{-\left[\frac{T-S}{10 \text{ dB}}\right]} \right) \text{ dB}$$

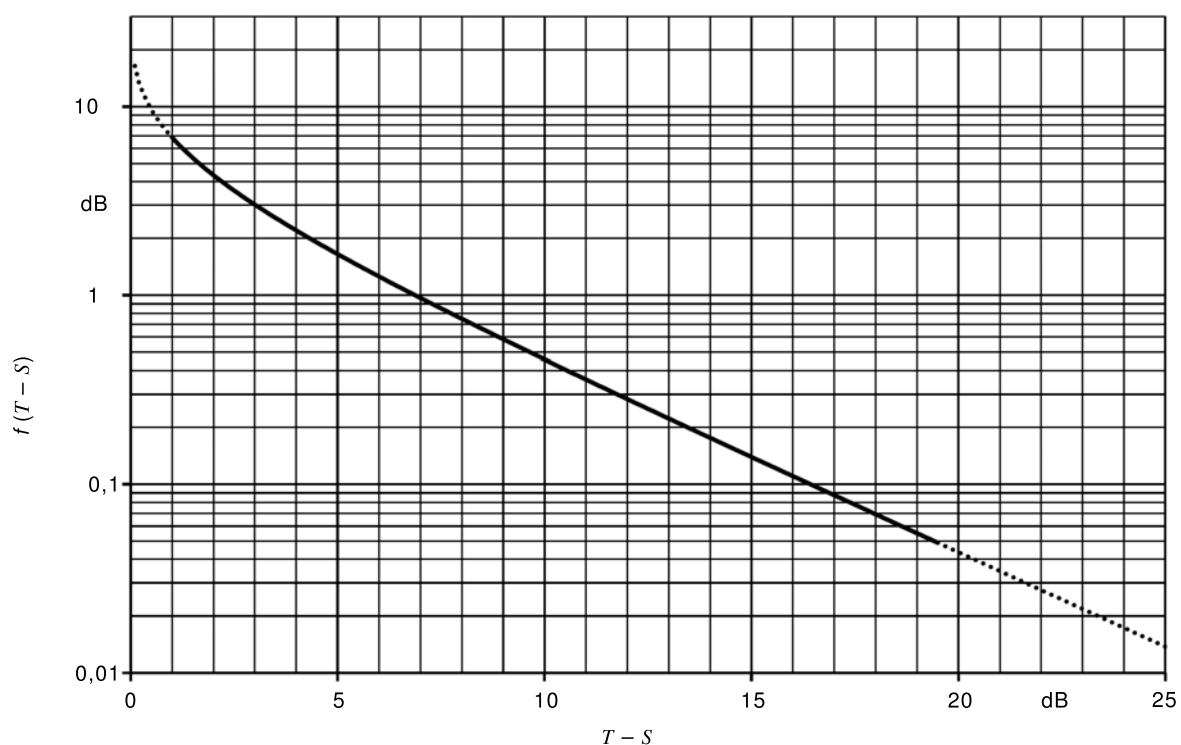


Figure 3 – Contribution of system noise, $f(T - S)$

Figure 3 shows the result of $f(T - S)$ plotted over $(T - S)$ and illustrates the special considerations discussed below.

- The accuracy of the determination of the current-noise deteriorates if the total noise approaches the system noise, which is the case for $(T - S) < 1,0$ dB. For such a case the reporting of seemingly accurate values for the current-noise index A_1 is no longer appropriate.
- The contribution of the system noise may be ignored if $f(T - S)$ does not provide a result which, rounded to one decimal, is at least 0,1 dB. This is the case for $(T - S) > 19,5$ dB.

For the reader's convenience, Table 3 provides numerical values of the contribution of system noise, rounded to one decimal.

Table 3 – Numeric values of the contribution of system noise, $f(T - S)$

$T - S$ dB	$f(T - S)$ dB	$T - S$ dB	$f(T - S)$ dB	$T - S$ dB	$f(T - S)$ dB
<1,0	7,0 ^a	2,9	3,1	5,0	1,7
1,0	6,9	3,0	3,0	5,1	1,6
1,1	6,5	3,1	2,9	5,2	1,6
1,2	6,2	3,2	2,8	5,3	1,5
1,3	5,9	3,3	2,7	5,4	1,5
1,4	5,6	3,4	2,7	5,5 to 5,7	1,4
1,5	5,3	3,5	2,6	5,8 to 6,0	1,3
1,6	5,1	3,6	2,5	6,1 to 6,3	1,2
1,7	4,9	3,7	2,4	6,4 to 6,6	1,1
1,8	4,7	3,8	2,3	6,7 to 7,0	1,0
1,9	4,5	3,9	2,3	7,1 to 7,5	0,9
2,0	4,3	4,0	2,2	7,6 to 7,9	0,8
2,1	4,2	4,1	2,1	8,0 to 8,5	0,7
2,2	4,0	4,2	2,1	8,6 to 9,2	0,6
2,3	3,9	4,3	2,0	9,3 to 10,0	0,5
2,4	3,7	4,4	2,0	10,1 to 11,1	0,4
2,5	3,6	4,5	1,9	11,2 to 12,5	0,3
2,6	3,5	4,6	1,8	12,6 to 14,6	0,2
2,7	3,3	4,7	1,8	14,7 to 19,4	0,1
2,8	3,2	4,8	1,7	≥19,5	0
		4,9	1,7		

^a The value $f(T - S) = 7$ dB given for $(T - S) < 1,0$ dB should be applied only for the determination of a maximum current noise index $A_{1 \max}$.

6.2 Determination of the current-noise index A_1

The current noise index in a frequency decade, A_1 , is determined by the quotient of the current-noise voltage in a frequency decade, E_C , over the applied d.c. voltage U_T .

The mathematical index A_1' is based on dividing the current noise voltage and d.c. voltage with proper consideration of the multiples of their unit volt, which with their logarithmic indexes C' and D is presented as

$$A_1' = C' - D$$

where

C' is the logarithmic index of the current noise voltage, scaled at 0 dB = 1 V;

D is the logarithmic index of the d.c. voltage U_T applied to the specimen, scaled at 0 dB = 1 V.

The practical index A_1 is based on dividing the current noise voltage and d.c. voltage in their individual units and multiples, which with their logarithmic indexes C and D is presented as

$$A_1 = C - D$$

where

C is the logarithmic index of the current noise voltage, scaled at 0 dB = 1 μ V.

The difference of 120 dB between the two indexes A_1' and A_1

$$A_1 = A_1' - 120 \text{ dB}.$$

is generally neglected.

Applying the definition of $f(T - S)$ from above (see 6.1), leads to the following standard equation for the determination of the current noise index A_1

$$A_1 = T - f(T - S) - D$$

The readings of the total noise index T , the system noise index S , both scaled at 0 dB = 1 μ V, and the index D of the applied d.c. voltage U_T , scaled at 0 dB = 1 V, shall be used to calculate the current noise index A_1 .

The following special consideration applies.

If the measured total noise approaches the measured system noise, hence if

$$(T - S) < 1,0 \text{ dB}$$

and thus the accuracy of the determination deteriorates, it is not recommended to use this method for the determination of a current-noise index A_1 with a pretended accuracy.

In such case the current-noise should only be reported as being less than a maximum current-noise index $A_{1 \text{ max}}$, which is determined by

$$A_{1 \text{ max}} = T - 7 \text{ dB} - D$$

6.3 Determination of the current-noise voltage ratio CNR_U

The current-noise voltage ratio in a frequency decade CNR_U

$$CNR_U = \frac{E_c}{U_T}$$

is derived from an established current-noise index A_1 by calculating

$$CNR_U = 10^{\frac{A_1}{20 \text{ dB}}} \cdot \frac{\mu V}{V}$$

6.4 Accuracy

The accuracy of the noise voltage measurement shall be ±0,75 dB. The accuracy of determinations of the current-noise index shall be ±1 dB when the current noise is large compared to the system noise, i.e. (*T* – *S*) is greater than 15 dB.

It is not uncommon for certain resistors to exhibit noise measurement variations greater than 0,75 dB. It should therefore be recognized that lack of agreement of repeated measurements on such resistors does not necessarily reflect a loss of accuracy of the measuring system, but is an indication of a noise property of the resistor.

6.5 Requirements

Acceptance criteria for the current noise of tested products shall be given with reference to a required maximum current-noise index *A*₁ in the relevant component specification.

Such acceptance criteria should be stated through a fixed maximum value, typically given as function of the specimen resistance.

7 Information to be given in the relevant component specification

When this test is included in a relevant component specification, the following details shall be given as far as they are required or applicable:

	Subclause
The environmental conditions for this measurement	5.1
The dissipation to be provided through the applied d.c. voltage	5.3.4, Table 2
A limitation to the applied d.c. voltage, if applicable	5.3.4, Table 2
The relevant component specification shall specify for its own purpose:	
	Subclause
Acceptance criteria to the current noise index <i>A</i> ₁	6.5

Annex A (informative)

Letter symbols and abbreviations

A.1 Letter symbols

A	Non-dimensional figure representing the area of a pass-band in a gain-over-frequency diagram	1
A_1	Current-noise index in a frequency decade (see 3.2)	dB
C	Logarithmic index of the current noise voltage	dB
D	Logarithmic index of the d.c. bias voltage	dB
$e(f)$	Momentary current noise voltage as a function of frequency	μV
e_{th}	Momentary thermal noise voltage	μV
E_c	Effective (r.m.s) current noise voltage	μV
E_s	Effective (r.m.s) system noise voltage	μV
E_t	Effective (r.m.s) total noise voltage	μV
E_{th}	Effective (r.m.s) thermal noise voltage	μV
f	Frequency	Hz
f_1	Lower cut-off frequency of a band-pass filter	Hz
f_2	Upper cut-off frequency of a band-pass filter	Hz
f_c	Centre frequency of a band-pass filter	Hz
Δf	Pass-band of a band-pass filter	Hz
I	Current	A
k	Boltzmann constant, $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$ J/K	J/K
R	Resistance	Ω
R_{Cal}	Resistance of the calibration resistor	Ω
R_M	Resistance of the isolation resistor	Ω
R_T	Resistance of the specimen	Ω
S	Logarithmic index of the system noise voltage	dB
S_k	Logarithmic index of the system noise voltage with shorted test terminals	dB
S_o	Logarithmic index of the system noise voltage with open test terminals	dB
T	Logarithmic index of the total noise voltage	dB
T	Absolute temperature	K
U_{Cal}	Calibration voltage	V
$U_{\text{N rms}}$	AC r.m.s. noise voltage	μV
U_T	DC test voltage applied to the specimen	V

A.2 Abbreviations

BPA	Band-pass amplifier
G	Calibration source, a.c. generator
P	DC power supply
S	Switch

Annex X (informative)

Cross-reference for references to the prior revision of this standard

The revision of this standard has resulted in a new clause numbering. Table X.1 provides cross-references between the clause numbering of this edition compared to the first edition of this standard.

Table X.1 – Cross reference for references to the 1st edition of this standard

IEC 60195:1965 1 st edition Clause	IEC 60195:2016 2 nd edition Clause	Notes
1	1	Object and scope are merged into one new clause.
2		
3	3 4.1	–
4	4.3 4.4	–
4.1	4.4.1 4.4.2	–
4.2	4.2 4.4.3 4.4.4	–
4.3	4.4.6 4.4.8 4.4.9	–
4.4	4.3.1	–
5	4.4.6	–
6	5	–
6.1	5.3.2	–
6.2	5.3.3	–
6.3	5.3.4	–
6.4	6	–
7	6.3	–
8	–	The content of the prior Clause 8 is spread into new subclauses, see below.
8.1	4.4	–
8.2	5.4	–
8.3	4.5	–
Table I	Table 2	Table 2 is modified for a harmonized allocation of the suggested R_M to the indicated values of R_T . Table 2 is amended with a new set of recommended operating conditions for specimen with $P_r < 0,1$ W.
Table II	Figure 3 Table 3	Table 3 is re-calculated based on the given equation.

Bibliography

IEC 60027 (all parts), *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

MIL-STD-202G, Method 308 “*Current-Noise Test for Fixed Resistors*”, 1961

G. T. Conrad, Jr., N. Newman, A.P. Stansbury, “*A Recommended Standard Resistor-Noise Test System*”, IRE Transactions on Component Parts, Volume CP-7, pp. 1-18; September 1960

Hameg Instruments, Professional Article “*What is noise?*”, 2009

N. Newman, G. T. Conrad, Jr., “*Discussion of errors of a Recommended Standard Resistor-Noise Test System*”, IRE Transactions on Component Parts, Volume CP-9, pp. 180-192; December 1962

NoiseKen Noise Laboratory Co., Ltd, “*Resistor Current Noise Tester RCN-2011*”, Datasheet, 2012

Quan-Tech, Division of KMS Industries, Inc., “*Model 315B Resistor Noise Test Set*”, Instruction Manual, 1973

Quan-Tech, Division of KMS Industries, Inc., “*Model 315C Resistor Noise Test Set*”, Instruction Manual

F. Zandman, P.-R. Simon, J. Szwarc, “*Resistor Theory and Technology*”, ISBN 189112112X, 2002

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
1 Domaine d'application.....	34
2 Références normatives	34
3 Termes et définitions	34
4 Méthode de mesure	35
4.1 Principes relatifs au bruit.....	35
4.1.1 Bruit	35
4.1.2 Bruit thermique	36
4.1.3 Bruit en charge	36
4.2 Principe de mesure	37
4.3 Système de mesure.....	38
4.3.1 Proposition d'un système de mesure approprié	38
4.3.2 Systèmes de mesure alternatifs.....	39
4.4 Exigences des systèmes de mesure	40
4.4.1 Circuit d'entrée	40
4.4.2 Résistance d'isolement R_M	40
4.4.3 Source de tension continue	40
4.4.4 Voltmètre électronique en courant continu	40
4.4.5 Résistance d'étalonnage R_{Cal}	41
4.4.6 Source d'étalonnage	41
4.4.7 Détermination de la tension d'étalonnage	41
4.4.8 Amplificateur passe-bande en courant alternatif.....	43
4.4.9 Dispositif de mesure en valeur efficace en courant alternatif	44
4.4.10 Dispositif d'essai	44
4.5 Vérification du système de mesure	45
4.5.1 Vérification des performances par la mesure du bruit des instruments et du bruit thermique	45
4.5.2 Vérification des performances par comparaison de mesures répétées	45
5 Procédure de mesure	46
5.1 Conditions ambiantes	46
5.2 Préparation des spécimens	46
5.3 Procédure	46
5.3.1 Généralités	46
5.3.2 Etalonnage	46
5.3.3 Mesure du bruit du système S	47
5.3.4 Mesure du bruit total T	47
5.4 Précautions.....	50
6 Évaluation des résultats des mesures	50
6.1 Terme pour la contribution du bruit du système	50
6.2 Détermination de l'indice de bruit en charge A_1	53
6.3 Détermination du rapport de tension de bruit en charge CNR_U	54
6.4 Précision.....	55
6.5 Exigences	55
7 Renseignements que doit fournir la spécification de composant applicable	55
Annexe A (informative) Symboles littéraux et abréviations	56
A.1 Symboles littéraux.....	56

A.2 Abréviations.....	56
Annexe X (informative) Correspondance des références par rapport à l'édition précédente de la présente norme	57
Bibliographie	58
Figure 1 – Représentation schématique d'un système de mesure approprié	39
Figure 2 – Fonction de transfert typique d'un amplificateur passe-bande	44
Figure 3 – Contribution du bruit du système, $f(T - S)$	52
Tableau 1 – Limites admissibles de bruit du système.....	45
Tableau 2 – Conditions de fonctionnement recommandées (1 de 2)	48
Tableau 3 – Valeurs numériques de la contribution du bruit du système, $f(T - S)$	53
Tableau X.1 – Correspondance des références par rapport à la première édition de la présente norme	57

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODE POUR LA MESURE DU BRUIT PRODUIT
EN CHARGE PAR LES RÉSISTANCES FIXES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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 de la présente Publication 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60195 a été établie par le comité d'études 40 de l'IEC: Condensateurs et résistances pour équipements électroniques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1965 dont elle constitue une révision technique.

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

- harmonisation de l'affectation des résistances d'isolement R_M dans les conditions de fonctionnement recommandées données dans le Tableau 2;
- correction des valeurs numériques erronées de la contribution du bruit du système, $f(T - S)$ dans le Tableau 3;
- ajout d'un conseil pour prescrire des exigences dans une spécification de composant applicable;

- ajout d'un ensemble de conditions de mesure recommandées pour des spécimens dont la dissipation assignée est inférieure à 100 mW;
- révision éditoriale complète.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
40/2431/FDIS	40/2458/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

MÉTHODE POUR LA MESURE DU BRUIT PRODUIT EN CHARGE PAR LES RÉSISTANCES FIXES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de mesure et des conditions d'essai associées pour évaluer l'absence de bruit ou l'amplitude du bruit en charge généré dans des résistances fixes d'un type quelconque. La méthode s'applique à toutes les classes de résistances fixes. Elle a pour but de fournir des résultats comparables pour déterminer l'aptitude des résistances utilisées dans des circuits électroniques dont les exigences relatives au bruit sont critiques.

Le bruit en charge dans des matériaux résistifs reflète la structure granulaire du matériau résistif. Pour certaines technologies de résistances utilisant des couches homogènes, le bruit en charge fournit une indication sur les défauts considérés comme la cause du vieillissement anormal du composant sous l'influence de la température et du temps.

La méthode décrite dans la présente Norme internationale n'est pas destinée à constituer des exigences pour une spécification générale. Elle s'applique donc si une spécification de composant applicable le prescrit ou si elle a fait l'objet d'un accord entre un client et un fabricant.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60068-1:2013, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

3 Termes et définitions

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

3.1

bruit en charge

combinaison de toutes les fluctuations aléatoires du courant dans une résistance qui ne sont pas attribuées à l'agitation thermique des porteurs de charge (bruit thermique) et qui dépendent du courant continu appliqué

3.2

indice de bruit en charge

A_1

indice logarithmique du rapport de la tension efficace de bruit en charge du circuit ouvert dans une décade de fréquence sur la tension continue appliquée pendant l'essai, en V, utilisé pour exprimer l'absence de bruit d'une résistance

Note 1 à l'Article: L'indice de bruit en charge est exprimé en dB. Le rapport entre μV et V n'est pas pris en compte dans cet indice, et donc sa valeur est inférieure de 120 dB par rapport à l'indice de bruit en charge mathématique A_1' . Cet indice pratique fait suite à l'historique des révisions précédentes de cette méthode.

3.3

indice mathématique de bruit en charge

A_1'

indice logarithmique du rapport de la tension efficace de bruit en charge du circuit ouvert dans une décade de fréquence sur la tension continue appliquée pendant l'essai établi en unités cohérentes et leurs multiples

Note 1 à l'Article: L'indice mathématique de bruit en charge est exprimé en dB. Cet indice a été introduit pour dériver mathématiquement les paramètres considérés.

3.4

rapport de tension de bruit en charge

CNR_U

rapport de la tension efficace de bruit en charge du circuit ouvert dans une décade de fréquence sur la tension continue appliquée pendant l'essai, en $\mu V/V$, utilisé pour exprimer l'absence de bruit d'une résistance

3.5

bruit de scintillation

bruit rose

fluctuations aléatoires présentes dans la plupart des dispositifs électroniques et généralement liées aux propriétés internes du dispositif en question, qui dépendent du courant continu et ont une densité spectrale de puissance inversement proportionnelle à la fréquence

3.6

bruit

fluctuations aléatoires d'un signal électrique ayant des valeurs d'amplitude instantanée qui, en raison de leur distribution aléatoire, peuvent seulement être prédites en termes de probabilités

3.7

bruit de grenaille

fluctuations aléatoires d'un courant électrique dues au courant circulant constitué de charges discrètes, indépendantes de la température et dont la densité spectrale de puissance est quasiment constante sur tout le spectre de fréquence

3.8

bruit thermique

fluctuations aléatoires générées par l'agitation thermique des porteurs de charge (généralement les électrons) à l'intérieur d'un conducteur électrique à l'état d'équilibre, indépendantes de la tension appliquée et dont la densité spectrale de puissance est quasiment constante sur tout le spectre de fréquence

Note 1 à l'Article: Le bruit thermique s'appelle également bruit de Johnson ou bruit de Nyquist.

4 Méthode de mesure

4.1 Principes relatifs au bruit

4.1.1 Bruit

Le bruit apparaît comme une tension spontanée fluctuante $e_n(t)$ avec des valeurs d'amplitude instantanée.

La tension de bruit est une variable aléatoire statistiquement indépendante, dans laquelle, pour la plupart des types de bruits, la distribution en fréquence des amplitudes suit une courbe de distribution gaussienne. Par conséquent, la tension de bruit ne peut être prédite qu'en termes de probabilités.

Habituellement, la caractéristique qui présente l'intérêt principal n'est pas l'amplitude instantanée, mais sa valeur moyenne dans le temps.

La mesure de l'amplitude communément utilisée et adoptée pour la présente Norme internationale est la tension efficace E_n observée dans une bande passante de fréquences particulière.

4.1.2 Bruit thermique

Le bruit thermique d'une résistance est une tension fluctuante produite par le mouvement aléatoire des charges dû à leur agitation thermique. Ce bruit thermique est présent dans toutes les résistances. La valeur efficace de la tension fluctuante qui apparaît aux bornes d'une résistance en circuit ouvert, qui serait indiquée par le système de mesure, peut être calculée en utilisant l'équation de Nyquist suivante

$$E_{th} = \sqrt{e_{th}^2} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f}$$

où

E_{th} est la tension efficace de bruit thermique dans une largeur de bande donnée;

e_{th} est la tension instantanée de bruit thermique dans une largeur de bande donnée;

k est la constante de Boltzmann, $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$ J/K;

T est la température absolue;

R est la résistance;

Δf est la largeur de bande effective du filtre passe-bande du système de mesure.

Le bruit thermique d'une résistance en essai ne peut pas être ignoré parce qu'il constitue souvent une source importante de perturbations des mesures.

4.1.3 Bruit en charge

La présence d'un courant continu dans une résistance fixe provoque une augmentation du bruit total observé au-delà du niveau attribué au bruit thermique. Quelle que soit son origine, cet excès de bruit s'appelle le bruit en charge.

$$E_t^2 = E_{th}^2 + E_c^2$$

où

E_t est la tension efficace de bruit total dans une largeur de bande donnée;

E_{th} est la tension efficace de bruit thermique dans une largeur de bande donnée;

E_c est la tension efficace de bruit en charge dans une largeur de bande donnée.

Le bruit en charge est donc la différence géométrique entre le bruit total et le bruit thermique

$$E_c^2 = E_t^2 - E_{th}^2$$

La tension efficace de bruit en charge par largeur de bande de 1 Hz est essentiellement inversement proportionnelle à la fréquence

$$[e(f)]^2 \sim \frac{I^2}{f}$$

où

$e(f)$ est la tension instantanée de bruit en charge en fonction de la fréquence;

I est le courant continu traversant la résistance;

f est la fréquence pour laquelle la tension de bruit en charge est considérée.

La tension efficace de bruit en charge pour une largeur de bande donnée est calculée en intégrant la tension de bruit en charge sur la bande de fréquences

$$\begin{aligned} E_c^2 &= \int_{f_1}^{f_2} [e(f)]^2 df \\ &\sim \int_{f_1}^{f_2} \frac{I^2}{f} df \\ &\sim I^2 \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \end{aligned}$$

où

E_c est la tension efficace de bruit en charge dans une largeur de bande donnée;

f_1 est la fréquence de coupure inférieure de la bande passante idéale;

f_2 est la fréquence de coupure supérieure de la bande passante idéale.

Si la tension efficace est inversement proportionnelle à la fréquence, alors des bandes passantes rectangulaires idéales dont les rapports entre les limites supérieures et inférieures des bandes passantes sont égaux, transmettent des quantités égales de tension de bruit depuis une source de bruit donnée.

Une résistance présentant un bruit en charge peut être représentée comme une source de bruit ayant un générateur de tension de bruit en charge d'impédance nulle connecté en série à un générateur indépendant de tension de bruit thermique et à une résistance exempte de bruit.

4.2 Principe de mesure

La tension de bruit en charge E_c est généralement quasiment proportionnelle à la tension continue d'essai appliquée U_T . Il est toutefois recommandé d'appliquer un ensemble harmonisé de conditions de fonctionnement pour garantir que les mesures de toutes les résistances sont tout à fait comparables.

Le Tableau 2 donne un ensemble de conditions de fonctionnement recommandées pour réaliser les essais avec des résistances dans la plage de 100 Ω à 22 M Ω . Les valeurs données ici évitent également la surcharge du spécimen et du circuit d'entrée.

La dépendance à la fréquence des tensions de bruit exige qu'une bande passante soit prescrite pour cette mesure, à savoir une bande passante rectangulaire idéale d'une décade de fréquence, centrée géométriquement sur 1 000 Hz.

La mesure donne l'indice mathématique de bruit en charge dans une décade de fréquence, A_1' , donné par l'équation suivante

$$A_1' = 20 \lg \left(\frac{E_c'}{U_T} \right) \text{ dB}$$

où

E_c' est la tension efficace de bruit en charge en circuit ouvert dans une décade de fréquence, exprimée en V;

U_T est la tension continue appliquée à la résistance en essai, exprimée en V.

L'indice de bruit en charge prédominant dans une décade de fréquence A_1 , reflète le fait que l'amplitude typique de la tension de bruit en charge se trouve dans la plage des microvolts et non dans la plage des volts.

$$A_1 = 20 \lg \left(\frac{E_c}{U_T} \right) \text{ dB}$$

où

E_c est la tension efficace de bruit en charge en circuit ouvert dans une décade de fréquence, exprimée en μV ;

U_T est la tension continue appliquée à la résistance en essai, exprimée en V.

Le rapport entre μV et V, qui est le résultat d'un décalage de 120 dB, est négligé dans la définition traditionnelle de l'indice de bruit en charge A_1 , et donc la relation suivante s'applique

$$A_1 = A_1' - 120 \text{ dB}.$$

Puisque le spectre de la puissance du bruit en charge s'approche d'une caractéristique de fréquence en $1/f$, l'indice et le rapport fournissent une évaluation du bruit en charge dans n'importe quelle décade de fréquence.

4.3 Système de mesure

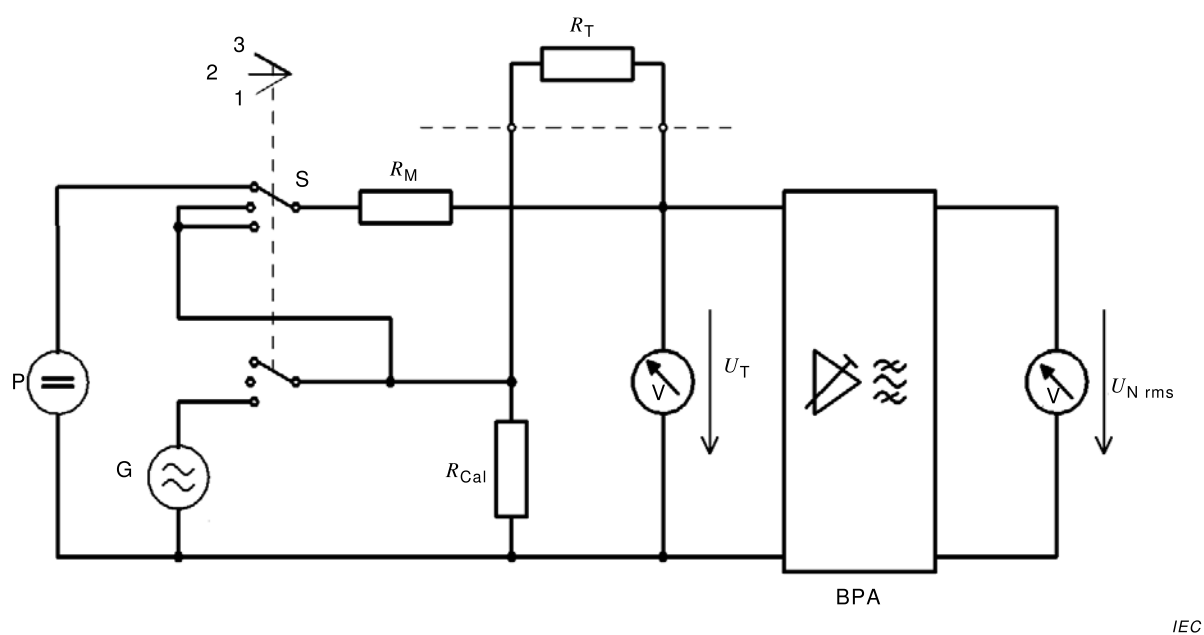
4.3.1 Proposition d'un système de mesure approprié

La Figure 1 est une représentation schématique d'un système de mesure approprié.

Un commutateur à trois positions peut être utilisé pour sélectionner n'importe lequel des trois modes de fonctionnement normalement suivis dans la procédure de mesure:

- étalonnage;
- mesure du bruit du système;
- mesure du bruit total.

Le circuit d'entrée est constitué de la résistance en essai R_T , de la résistance d'isolement R_M et de la résistance d'étalonnage R_{Cal} , où la résistance d'isolement R_M est exigée pour réduire l'effet de mise en dérivation (shuntage) du système d'alimentation en courant continu sur le bruit généré dans la résistance en essai.



Légende

P Source de tension continue

G Source d'étalonnage, $f = 1$ kHz

S Commutateur à trois positions

Position 1: Etalonnage

Position 2: Bruit du système

Position 3: Bruit total

 R_M Résistance d'isolement R_{Cal} Résistance d'étalonnage, $R_{Cal} = 1 \Omega$ R_T Résistance en essai U_T Tension continue d'essai

BPA Amplificateur passe-bande à gain réglable

 $U_{N\ rms}$ Tension alternative efficace de bruit

Figure 1 – Représentation schématique d'un système de mesure approprié

La suite de la présente Norme internationale porte sur ce système de mesure approprié, sauf indication spécifique.

4.3.2 Systèmes de mesure alternatifs

Le système de mesure proposé en 4.3.1 est destiné à unifier les procédures d'essais et de mesures utilisées pour l'évaluation du bruit en charge généré dans des résistances fixes. Toutefois, ce système n'est pas nécessairement le seul système pouvant être utilisé, sauf s'il est désigné spécifiquement comme une méthode de référence ou d'arbitrage.

Le fournisseur et l'utilisateur de n'importe quel système de mesure alternatif doivent démontrer qu'un tel système donnera des résultats équivalents à ceux obtenus par le système proposé.

4.4 Exigences des systèmes de mesure

4.4.1 Circuit d'entrée

L'impédance d'entrée du système de mesure est influencée par l'impédance du voltmètre électronique en courant continu, qui est placé en parallèle à la résistance d'isolement R_M et à la résistance en essai. Elle atténue ainsi le signal de bruit généré dans le spécimen.

L'impédance d'entrée du voltmètre électronique en courant continu doit satisfaire aux exigences sur l'impédance données en 4.4.4 afin d'éviter toute influence néfaste sur la mesure.

4.4.2 Résistance d'isolement R_M

Un certain nombre de résistances d'isolement R_M exemptes de bruit en charge seront nécessaires pour couvrir la plage des valeurs de résistance du spécimen. Ces résistances peuvent être insérées dans le circuit si nécessaire. La résistance d'isolement doit être exempte de bruit en charge (par exemple, une résistance bobinée de bonne qualité). Chaque résistance d'isolement doit avoir une dissipation assignée d'au moins 1 W et une tolérance de ± 1 %.

Au moins quatre résistances d'isolement R_M sont exigées si la plage de résistances du spécimen s'étend de 100 Ω à 22 M Ω . Des résistances de 1 k Ω ; 10 k Ω ; 100 k Ω et 1 M Ω sont des exemples de valeurs appropriées pour R_M . Ces valeurs sont utilisées pour établir les conditions d'essai dans le Tableau 2.

4.4.3 Source de tension continue

La source de tension continue doit être capable de délivrer une plage appropriée de tensions, qui dépend de la résistance en essai (le spécimen) R_T , de la tension d'essai exigée U_T et de la résistance d'isolement R_M . La tension continue d'essai ajustée doit être maintenue suffisamment stable pendant toute la mesure.

Le Tableau 2 présente des conditions de fonctionnement recommandées pour la résistance en essai R_T dans la plage allant de 100 Ω à 22 M Ω , ce qui donne des tensions d'essai U_T dans la plage allant de 2,2 V à 250 V. Pour réaliser ceci, il est nécessaire que la source de tension continue fournisse une tension réglable dans la plage allant de 14 V à 500 V.

Il peut y avoir des interférences de ronflement et de bruit introduites par la source de tension continue quand elle délivre un courant à la résistance en essai. L'influence de ces interférences sur l'indice de bruit observé ne doit pas dépasser 0,5 dB quand la résistance en essai connectée ne génère pas de bruit en charge (par exemple une résistance bobinée ou à feuille métallique de bonne qualité).

4.4.4 Voltmètre électronique en courant continu

Le voltmètre utilisé pour mesurer la tension continue d'essai U_T doit avoir une impédance constante d'au moins 4 M Ω dans la plage de fréquences allant de 0 Hz à 1 600 Hz.

Le dispositif de mesure, avec un atténuateur à paliers, doit être capable d'indiquer les tensions continues d'essai exigées avec une précision de ± 3 %. La constante de temps doit être inférieure à 0,5 s.

Le dispositif de mesure doit afficher la tension continue d'essai U_T en volts et l'indice de tension continue d'essai D en dB, qui est déterminé par

$$D = 20 \lg \left(\frac{U_T}{1 \text{ V}} \right) \text{ dB}$$

Des interférences peuvent être introduites par le voltmètre quand il est connecté au circuit d'entrée. L'influence de ceci sur l'indice de bruit observé ne doit pas dépasser 0,2 dB.

4.4.5 Résistance d'étalonnage R_{Cal}

La résistance d'étalonnage R_{Cal} doit satisfaire aux détails de spécification suivants

$$R_{\text{Cal}} = 1,00 \, \Omega$$

$$P_r \geq 0,5 \text{ W}$$

La résistance d'étalonnage doit être choisie pour générer le moins possible de bruit en charge (par exemple une résistance bobinée ou à feuille métallique de bonne qualité).

4.4.6 Source d'étalonnage

La source d'étalonnage doit être un générateur d'ondes sinusoïdales stables avec une fréquence fixe à l'intérieur de la plage allant de 980 Hz à 1 020 Hz. Sa sortie doit délivrer une tension aux bornes de la résistance d'étalonnage R_{Cal} , qui est réglable à l'intérieur d'une plage allant de 0,6 mV à 0,7 mV, où la tension d'étalonnage réelle exigée est déterminée en 4.4.7. La stabilité de la tension d'étalonnage ajustée doit être meilleure que $\pm 2 \%$.

La source d'étalonnage est connectée au système de mesure seulement en mode d'étalonnage.

4.4.7 Détermination de la tension d'étalonnage

La tension d'étalonnage U_{Cal} est déterminée pour produire une lecture sur le dispositif de mesure du bruit égale à celle produite par une tension de bruit en charge ayant une valeur efficace de 1 mV dans une décade de fréquence.

Comme indiqué en 4.1.3, la tension de bruit en charge efficace dépend du courant continu et des fréquences de coupure de la bande passante idéale, et s'exprime sous la forme

$$E_c^2 \sim I^2 \ln \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

où

E_c est la tension efficace de bruit en charge dans une largeur de bande donnée;

I est le courant continu traversant la résistance;

f_1 est la fréquence de coupure inférieure de la bande passante idéale;

f_2 est la fréquence de coupure supérieure de la bande passante idéale.

Pour une décade de fréquence et une bande passante idéale, la relation entre les deux fréquences de coupure est

$$f_2 = 10 f_1$$

Pour la condition de référence considérée avec

$$E_c = 1 \text{ mV}$$

la relation précédente devient

$$(1 \text{ mV})^2 \sim I^2 \ln(10)$$

où

I est le courant continu traversant la résistance.

Pour cette méthode, un filtre passe-bande idéal de largeur de bande 1 kHz, centré géométriquement sur 1 kHz doit être utilisé, et donc avec une fréquence de coupure inférieure $f_1 = 618 \text{ Hz}$ et une fréquence de coupure supérieure $f_2 = 1\,618 \text{ Hz}$, voir 4.4.8.

Pour cette condition, l'équation suivante s'applique

$$E_c = U_{\text{Cal}}$$

et donc la relation précédente devient

$$(U_{\text{Cal}})^2 \sim I^2 \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)$$

où

U_{Cal} est la tension d'étalonnage exigée pour obtenir une lecture de 1 mV par décade de fréquence;

I est le courant continu traversant la résistance;

f_1 est la fréquence de coupure inférieure de la bande passante idéale;

f_2 est la fréquence de coupure supérieure de la bande passante idéale.

La division de $(U_{\text{Cal}})^2$ par $(1 \text{ mV})^2$ donne

$$\frac{(U_{\text{Cal}})^2}{(1 \text{ mV})^2} = \frac{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{\ln(10)}$$

La tension d'étalonnage peut donc s'écrire sous la forme

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{\ln(10)}} \times 1 \text{ mV}$$

Dans la pratique, cette équation peut être simplifiée de la manière suivante

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{A} \cdot 0,659 \text{ mV}$$

où

A est une valeur sans dimension représentant la zone sous la courbe de la bande passante

$$A = \ln \frac{f_2}{f_1}$$

où

f_1 est la fréquence de coupure inférieure de la bande passante idéale;

f_2 est la fréquence de coupure supérieure de la bande passante idéale.

Pour le filtre passe-bande idéal prescrit de largeur de bande 1 kHz, centré géométriquement sur 1 kHz, le calcul donne $A_i = 0,962$.

Par conséquent, dans ce cas la tension d'étalonnage exigée est

$$U_{\text{Cal}} = \sqrt{0,962} \times 0,659 \text{ mV} = 0,646 \text{ mV}$$

Pour n'importe quel filtre passe-bande non idéal, la valeur A peut être calculée comme suit:

- Le gain de tension est mesuré dans toute la bande passante du système en fonction de la fréquence, où le gain de tension est le rapport de la tension de sortie, comme indiqué par le dispositif de mesure de sortie, sur la tension d'entrée, appliquée aux bornes de la résistance d'étalonnage.
- Le gain de puissance est calculé en élevant au carré le gain de tension pour chaque fréquence.
- Chaque valeur du gain de puissance est divisée par sa fréquence respective et tracée en fonction de la fréquence dans un diagramme linéaire.
- La zone sous la courbe résultante est mesurée de manière planimétrique pour donner la valeur A pour le filtre passe-bande non idéal respectif, où la précision de cette détermination doit être à $\pm 2,5$ % du résultat.

Lorsque le résultat d'une simulation numérique du gain par rapport à la fréquence d'un filtre passe-bande est disponible, le gain étant typiquement donné en dB, la procédure décrite ci-dessus peut être exécutée numériquement, par exemple en utilisant une feuille de calcul.

Il convient que la valeur A résultante soit proche du résultat pour une bande passante idéale, $A_i = 0,962$.

NOTE La détermination numérique de la zone sous la bande passante représentée sur la Figure 2 donne une valeur $A = 0,959$, ce qui donne une tension d'étalonnage exigée $U_{\text{Cal}} = 0,645 \text{ mV}$.

La source d'étalonnage doit être ajustée pour fournir la tension efficace U_{Cal} aux bornes de la résistance d'étalonnage R_{Cal} avec une précision relative meilleure que ± 2 %.

4.4.8 Amplificateur passe-bande en courant alternatif

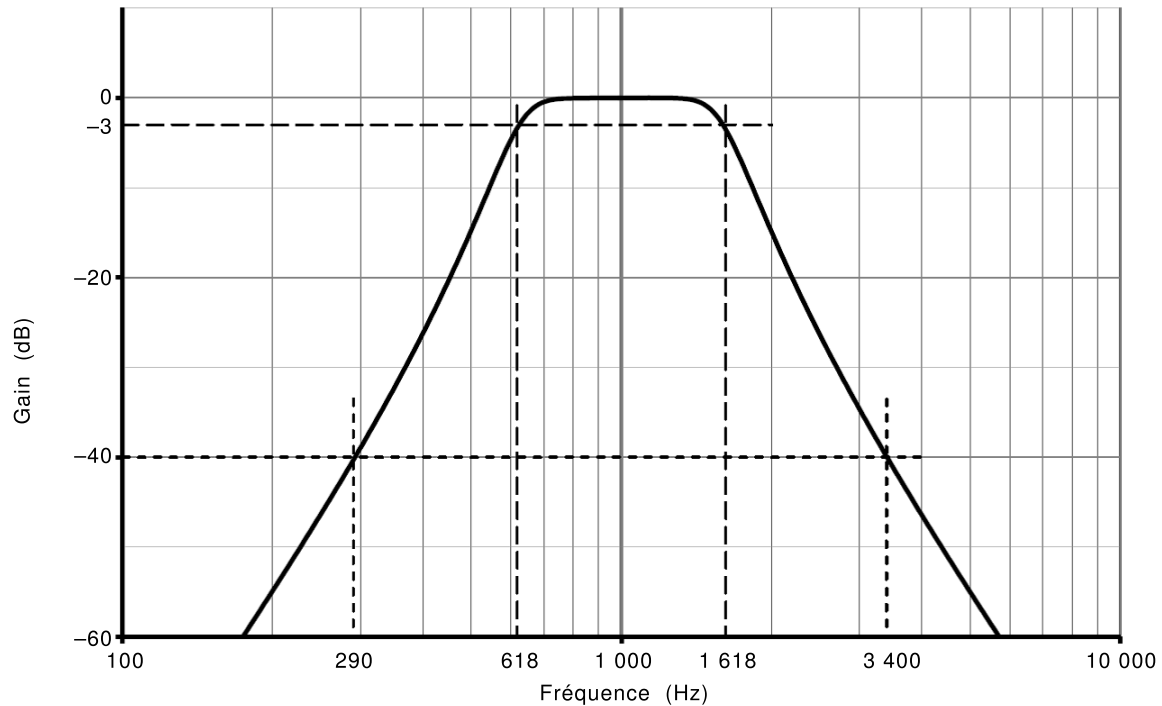
Le gain de l'amplificateur doit être suffisant pour mesurer le bruit du circuit avec les bornes d'entrée en court-circuit et avec la commande de gain réglable, comme décrit ci-dessous, réglé proche de sa position de gain minimal.

Lors d'une vérification avec $R_M \geq 100 \text{ k}\Omega$ et sans courant continu, le bruit du circuit ne doit pas dépasser le bruit thermique d'une résistance de $6,2 \text{ k}\Omega$. Par conséquent, lorsque le court-circuit est remplacé par une résistance de $6,2 \text{ k}\Omega$ avec une tolérance relative de ± 5 %, la sortie doit augmenter d'au moins 3 dB sans toucher au réglage de la commande de gain.

L'amplificateur doit être capable de mesurer des signaux d'entrée jusqu'à $650 \text{ }\mu\text{V}$. Cette amplitude du signal donne une lecture d'environ 60 dB quand le système est étalonné.

Un dispositif de réglage continu du gain doit être prévu pour maintenir un gain global fixe dans le système. Sinon le gain varierait avec les conditions d'entrée données dans le Tableau 2. La plage nécessaire de commande du gain est environ 33 dB.

La bande passante doit être plate, sa largeur à mi-puissance doit être d'environ 1 000 Hz $\pm$ 50 Hz et elle doit être centrée géométriquement sur 1 000 Hz $\pm$ 50 Hz. L'ondulation dans la partie plate de la bande passante ne doit pas dépasser $\pm 0,2$ dB. La Figure 2 présente la fonction de transfert d'un amplificateur passe-bande qui satisfait à ces exigences.



IEC

Figure 2 – Fonction de transfert typique d'un amplificateur passe-bande

Ces exigences doivent être satisfaites pour toutes les conditions de mesure données dans le Tableau 2. La zone sous la bande passante A , telle qu'elle déterminée en 4.4.7, et la bande passante à mi-puissance ne doivent pas varier de plus de ± 4 % quelles que soient les conditions de mesure recommandées. La conformité à 100 Ω et à 22 M Ω est considérée comme suffisante.

L'amplificateur en courant alternatif doit répondre aux signaux de bruit sans introduire d'erreurs importantes dues à une saturation. Cette exigence implique que la plage dynamique s'étende sur au moins 10 dB au-delà de la valeur alternative efficace indiquée.

4.4.9 Dispositif de mesure en valeur efficace en courant alternatif

Le dispositif de mesure en courant alternatif doit être étalonné de -20 dB à au moins +60 dB, 0 dB correspondant à 1 μ V dans une décade de fréquence. La précision du dispositif de mesure en valeur efficace en courant alternatif doit être de $\pm 0,4$ dB. La constante de temps doit être dans la plage allant de 0,8 s à 1,5 s.

4.4.10 Dispositif d'essai

Le dispositif d'essai pour la résistance en essai R_T , doit être capable de fournir une connexion électrique sûre et un blindage suffisant contre tous les champs externes.

Les capacités entre fils et entre un fil et la terre de la résistance en essai dans le dispositif d'essai et les capacités des fils de l'entrée de l'amplificateur passe-bande doivent être réduites à leur valeur minimale, par exemple en utilisant des fils courts, des espacements convenables et un montage soigneux.

Le blindage doit être correctement effectué dans la construction du système de mesure. Le circuit d'entrée fonctionne à des niveaux extrêmement faibles. Il est donc nécessaire que toutes les parties et les fils du circuit d'entrée soient très soigneusement blindés. Il convient de ne pas placer de composants transportant des signaux élevés près du circuit d'entrée.

4.5 Vérification du système de mesure

4.5.1 Vérification des performances par la mesure du bruit des instruments et du bruit thermique

Il est recommandé de vérifier les performances du système de mesure en contrôlant le niveau du bruit du système, y compris le bruit thermique, sans spécimen.

Pour un système de mesure tel que celui proposé en 4.3, il convient d'appliquer la procédure suivante:

- placer le commutateur de fonction sur la position "étalonnage" et court-circuiter les bornes de la résistance en essai R_T ;
- régler le gain de l'amplificateur passe-bande sur la valeur d'étalonnage sur le dispositif de mesure en valeur efficace en courant alternatif;

NOTE La valeur d'étalonnage est typiquement une valeur située au centre de l'échelle du dispositif de mesure en valeur efficace en courant alternatif. Avec le système de mesure placé en mode étalonnage, le dispositif de mesure est connecté sans réseau d'atténuateur.

- placer le commutateur de fonction sur la position "bruit du système" et lire l'indice de bruit S_k ;
- retirer le court-circuit des bornes de la résistance en essai R_T ;
- lire l'indice de bruit S_o pour chaque résistance d'isolement R_M .

Il convient que les lectures de l'indice de bruit ne dépassent pas les limites données dans le Tableau 1, sauf si d'autres recommandations sont données pour un système de mesure spécifique.

Tableau 1 – Limites admissibles de bruit du système

R_M	R_T	Limites admissibles des valeurs de bruit du système dB
N'importe quelle valeur	Court-circuit	$S_k \leq -5$ dB
1 k Ω	Aucune, bornes ouvertes	-9 dB $\leq S_o \leq -4,5$ dB
10 k Ω	Aucune, bornes ouvertes	-5 dB $\leq S_o \leq -2$ dB
100 k Ω	Aucune, bornes ouvertes	5 dB $\leq S_o \leq 7,5$ dB
1 M Ω	Aucune, bornes ouvertes	14 dB $\leq S_o \leq 18$ dB
Les deux premières lectures sont essentiellement des mesures du bruit dans l'amplificateur, alors que les deux dernières lectures sont essentiellement des mesures du bruit thermique de R_M dans la bande passante de l'instrument. La troisième lecture est influencée par les deux facteurs.		

Des procédures de contrôle des performances et des limites admissibles différentes peuvent être prescrites pour des réalisations pratiques du système de mesure proposé en 4.3 ou pour d'autres systèmes de mesure comme cela est suggéré en 4.3.2.

4.5.2 Vérification des performances par comparaison de mesures répétées

Il est recommandé de vérifier les performances du système de mesure en contrôlant le bruit en charge des spécimens de résistance spécifique après des mesures répétées.

Un moyen pratique pour surveiller la stabilité du système de mesure consiste à conserver un enregistrement des mesures faites sur un ensemble de résistances de contrôle spécifiques, où il est souhaitable que l'ensemble de résistances de contrôle soit composé de différents types de résistances et représente une grande plage de valeurs de résistance et de bruit en charge.

Un moyen simple et efficace pour détecter toute irrégularité dans le système de mesure consiste à tracer les données en fonction du temps sur un graphe de contrôle pour chaque spécimen.

5 Procédure de mesure

5.1 Conditions ambiantes

Les mesures doivent de préférence être effectuées dans des conditions atmosphériques normalisées pour les mesures d'arbitrage et les essais selon 4.2 de l'IEC 60068-1:2013.

- Température: $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- Humidité relative: 45 % à 55 %
- Pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa

Une spécification applicable peut prescrire d'autres conditions ambiantes pour cette mesure.

NOTE Les conditions atmosphériques normalisées généralement appliquées pour les essais avec leur plus large plage de températures admissibles ne sont pas recommandées pour cet essai en raison de l'influence de la température sur la mesure (par exemple le bruit thermique).

5.2 Préparation des spécimens

Les spécimens doivent être stockés dans les conditions ambiantes prescrites en 5.1 pendant au moins 24 h avant une mesure.

5.3 Procédure

5.3.1 Généralités

Le système de mesure doit être stocké dans les conditions ambiantes prescrites en 5.1 pendant au moins 24 h avant une mesure.

L'opération complète est constituée de trois étapes successives:

- a) l'étalonnage;
- b) la mesure du bruit du système;
- c) la mesure simultanée du bruit total et de la tension continue aux bornes du spécimen.

Un gain de temps considérable peut être obtenu lorsque des groupes de résistances semblables doivent être mesurés si la stabilité de l'équipement d'essai le permet. Les intervalles auxquels l'étalonnage et les mesures du bruit du système doivent être répétés dépendent de la stabilité de l'équipement et de la précision exigée.

5.3.2 Etalonnage

La résistance en essai R_T , doit être insérée dans le dispositif d'essai et la résistance d'isolement appropriée R_M , doit être placée dans le circuit. L'affectation indiquée dans le Tableau 2 doit s'appliquer, sauf si d'autres dispositions ont été prises dans la spécification applicable.

Le système de mesure étant configuré pour l'étalonnage, la résistance d'isolement R_M est raccordée à la terre (pas à la source de tension continue), et la tension d'étalonnage de 1 000 Hz est connectée à la résistance d'étalonnage R_{Cal} .

La commande de gain de l'amplificateur passe-bande doit être ajustée de sorte que le dispositif de mesure de la tension de bruit indique +60 dB, ou son équivalent 1 mV, dans une décade de fréquence.

5.3.3 Mesure du bruit du système S

La résistance en essai R_T et la résistance d'isolement R_M doivent rester connectées comme défini en 5.3.2.

Avec le système de mesure configuré pour la mesure du bruit du système, la résistance d'isolement R_M est raccordée à la terre (pas à la source de tension continue), et la résistance d'étalonnage R_{Cal} est déconnectée de la tension d'étalonnage.

L'indice de bruit du système S est lu sur le dispositif de mesure de la tension de bruit après un retard minimum de 5 s, permettant au dispositif de mesure d'atteindre une valeur moyenne représentative.

5.3.4 Mesure du bruit total T

La résistance en essai R_T et la résistance d'isolement R_M doivent rester connectées comme défini en 5.3.2.

Avec le système de mesure configuré pour la mesure du bruit total, la résistance d'isolement R_M est raccordée à la source de tension continue pour délivrer un courant à la résistance en essai R_T . La résistance d'étalonnage R_{Cal} est déconnectée de la tension d'étalonnage.

La tension continue U_T doit être réglée conformément à ce qui est prescrit dans le Tableau 2, sauf si d'autres dispositions ont été prises dans la spécification applicable, par exemple en considérant la valeur assignée de dissipation d'un modèle particulier de résistances. Pour les valeurs de R_T qui ne sont pas indiquées dans le Tableau 2, il convient d'appliquer les paramètres de la prochaine plus basse valeur.

L'indice de tension continue d'essai D est lu sur le voltmètre continu et l'indice de bruit total T est lu sur le dispositif de mesure de tension de bruit après un retard minimum de 5 s, permettant au dispositif de mesure d'atteindre une valeur moyenne représentative.

Tableau 2 – Conditions de fonctionnement recommandées (1 de 2)

R_T	R_M	$P_r \geq 0,5 \text{ W}$			$0,5 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
		U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW
100 Ω	1,0 k Ω	3,2	10,0	100	3,2	10,0	100	2,2	7,0	50
120 Ω	1,0 k Ω	3,8	11,6	120	3,5	10,8	100	2,4	7,8	50
150 Ω	1,0 k Ω	4,7	13,5	150	3,9	11,8	100	2,7	8,8	50
180 Ω	1,0 k Ω	5,7	15,1	180	4,2	12,6	100	3,0	9,5	50
220 Ω	1,0 k Ω	7,0	16,8	220	4,7	13,4	100	3,3	10,4	50
270 Ω	1,0 k Ω	8,2	18,3	250	5,2	14,3	100	3,7	11,3	50
330 Ω	1,0 k Ω	9,1	19,2	250	5,7	15,2	100	4,1	12,2	50
390 Ω	1,0 k Ω	9,9	19,9	250	6,2	15,9	100	4,4	12,9	50
470 Ω	1,0 k Ω	10,8	20,7	250	6,9	16,7	100	4,8	13,7	50
560 Ω	1,0 k Ω	11,8	21,5	250	7,5	17,5	100	5,3	14,5	50
680 Ω	1,0 k Ω	13,0	22,3	250	8,2	18,3	100	5,8	15,3	50
820 Ω	1,0 k Ω	14,3	23,1	250	9,1	19,1	100	6,4	16,1	50
1,0 k Ω	1,0 k Ω	15,8	24,0	250	10,0	20,0	100	7,1	17,0	50
1,2 k Ω	1,0 k Ω	17,3	24,8	250	11,0	20,8	100	7,7	17,8	50
1,5 k Ω	1,0 k Ω	19,4	25,7	250	12,2	21,8	100	8,7	18,8	50
1,8 k Ω	1,0 k Ω	21,2	26,5	250	13,4	22,6	100	9,5	19,5	50
2,2 k Ω	1,0 k Ω	23,5	27,4	250	14,8	23,4	100	10,5	20,4	50
2,7 k Ω	10 k Ω	26,0	28,3	250	16,4	24,3	100	11,6	21,3	50
3,3 k Ω	10 k Ω	28,7	29,2	250	18,2	25,2	100	12,8	22,2	50
3,9 k Ω	10 k Ω	31,2	29,9	250	19,7	25,9	100	14,0	22,9	50
4,7 k Ω	10 k Ω	34,3	30,7	250	21,7	26,7	100	15,3	23,7	50
5,6 k Ω	10 k Ω	37,4	31,5	250	23,7	27,5	100	16,7	24,5	50
6,8 k Ω	10 k Ω	41,2	32,3	250	26,1	28,3	100	18,4	25,3	50
8,2 k Ω	10 k Ω	45,3	33,1	250	28,6	29,1	100	20,2	26,1	50
10 k Ω	10 k Ω	50,0	34,0	250	31,6	30,0	100	22,4	27,0	50
12 k Ω	10 k Ω	54,8	34,8	250	34,6	30,8	100	24,5	27,8	50
15 k Ω	10 k Ω	61,2	35,7	250	38,7	31,8	100	27,4	28,8	50
18 k Ω	10 k Ω	67,1	36,5	250	42,4	32,6	100	30,0	29,5	50
22 k Ω	10 k Ω	74,2	37,4	250	46,9	33,4	100	33,2	30,4	50
27 k Ω	100 k Ω	82,2	38,3	250	52,0	34,3	100	36,7	31,3	50
33 k Ω	100 k Ω	90,8	39,2	250	57,4	35,2	100	40,6	32,2	50
39 k Ω	100 k Ω	98,7	39,9	250	62,4	35,9	100	44,2	32,9	50
47 k Ω	100 k Ω	108	40,7	250	68,6	36,7	100	48,5	33,7	50
56 k Ω	100 k Ω	118	41,5	250	74,8	37,5	100	52,9	34,5	50
68 k Ω	100 k Ω	130	42,3	250	82,5	38,3	100	58,3	35,3	50
82 k Ω	100 k Ω	143	43,1	250	90,6	39,1	100	64,0	36,1	50

Tableau 2 (2 de 2)

R_T	R_M	$P_r \geq 0,5 \text{ W}$			$0,5 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
		U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW	U_T V	D dB	P_T mW
100 k Ω	100 k Ω	158	44,0	250	100	40,0	100	70,7	37,0	50
120 k Ω	100 k Ω	173	44,8	250	110	40,8	100	77,5	37,8	50
150 k Ω	100 k Ω	194	45,7	250	122	41,8	100	86,6	38,8	50
180 k Ω	100 k Ω	212	46,5	250	134	42,6	100	94,9	39,5	50
220 k Ω	100 k Ω	235	47,4	250	148	43,4	100	105	40,4	50
270 k Ω	100 k Ω	250	48,0	231	164	44,3	100	116	41,3	50
330 k Ω	100 k Ω	250	48,0	189	182	45,2	100	129	42,2	50
390 k Ω	100 k Ω	250	48,0	160	197	45,9	100	140	42,9	50
470 k Ω	100 k Ω	250	48,0	133	217	46,7	100	153	43,7	50
560 k Ω	100 k Ω	250	48,0	112	237	47,5	100	167	44,5	50
680 k Ω	100 k Ω	250	48,0	92	250	48,0	92	184	45,3	50
820 k Ω	100 k Ω	250	48,0	76	250	48,0	76	202	46,1	50
1,0 M Ω	100 k Ω	250	48,0	63	250	48,0	63	224	47,0	50
1,2 M Ω	100 k Ω	250	48,0	52	250	48,0	52	245	47,8	50
1,5 M Ω	100 k Ω	250	48,0	42	250	48,0	42	250	48,0	42
1,8 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	35	250	48,0	35	250	48,0	35
2,2 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	28	250	48,0	28	250	48,0	28
2,7 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	23	250	48,0	23	250	48,0	23
3,3 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	19	250	48,0	19	250	48,0	19
3,9 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	16	250	48,0	16	250	48,0	16
4,7 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	13	250	48,0	13	250	48,0	13
5,6 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	11	250	48,0	11	250	48,0	11
6,8 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	9,2	250	48,0	9,2	250	48,0	9,2
8,2 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	7,6	250	48,0	7,6	250	48,0	7,6
10 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	6,3	250	48,0	6,3	250	48,0	6,3
12 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	5,2	250	48,0	5,2	250	48,0	5,2
15 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	4,2	250	48,0	4,2	250	48,0	4,2
18 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	3,5	250	48,0	3,5	250	48,0	3,5
22 M Ω	1,0 M Ω	250	48,0	2,8	250	48,0	2,8	250	48,0	2,8
Les valeurs de ce tableau sont établies avec les conditions préalables suivantes: – La tension à délivrer par la source de tension continue interne ne doit pas dépasser 400 V. – La tension U_T aux bornes de la résistance en essai ne doit pas dépasser 250 V. – La dissipation de la résistance d'isolement R_M ne doit pas dépasser 1 W. – L'affectation des résistances d'isolement R_M aux résistances en essai R_T doit s'appliquer à tous les modèles de spécimens.										
Légende P_r est la dissipation assignée de la résistance en essai R_T est la valeur de la résistance en essai R_M est la résistance d'isolement U_T est la tension continue appliquée au spécimen D est l'indice de tension continue d'essai, $D = 20 \lg (U_T / 1 \text{ V}) \text{ dB}$ P_T est la puissance dissipée dans le spécimen										

5.4 Précautions

Il convient de prendre des précautions raisonnables, telles que celles communément prises pour des mesures sensibles, pour utiliser le dispositif d'essai. Il convient que l'emplacement de fonctionnement soit exempt de champs magnétiques et électriques intenses et de sources de rayonnement électromagnétique. Généralement, il n'est pas nécessaire d'utiliser une cage de Faraday. Il convient que l'emplacement de fonctionnement soit exempt de vibrations mécaniques importantes et de sources sonores intenses. Ces précautions sont indiquées pour servir de guide dans le choix d'emplacements convenables. L'aptitude d'un emplacement peut être déterminée en comparant les performances des dispositifs d'essai dans l'emplacement choisi à celles dans un emplacement "tranquille". Généralement, les sources de perturbations sont facilement identifiables.

6 Évaluation des résultats des mesures

6.1 Terme pour la contribution du bruit du système

La tension de bruit total est la somme géométrique de la tension de bruit du système et de la tension de bruit en charge de la résistance en essai

$$E_t^2 = E_s^2 + E_c^2$$

où

E_t est la tension efficace de bruit total dans une largeur de bande donnée;

E_s est la tension efficace de bruit du système dans une largeur de bande donnée;

E_c est la tension efficace de bruit en charge dans une largeur de bande donnée.

NOTE Pour des raisons pratiques, ces tensions de bruit sont généralement données en μV .

Cette équation peut être écrite pour E_c de la manière suivante

$$E_c^2 = E_t^2 - E_s^2$$

Chaque tension de bruit peut être remplacée par un terme basé sur son indice logarithmique

$$C = 20 \lg \left(\frac{E_c}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB} \quad \text{d'où} \quad E_c = 10^{\left(\frac{C}{20 \text{ dB}} \right)} \times 1 \mu\text{V}$$

$$T = 20 \lg \left(\frac{E_t}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB} \quad \text{d'où} \quad E_t = 10^{\left(\frac{T}{20 \text{ dB}} \right)} \times 1 \mu\text{V}$$

$$S = 20 \lg \left(\frac{E_s}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB} \quad \text{d'où} \quad E_s = 10^{\left(\frac{S}{20 \text{ dB}} \right)} \times 1 \mu\text{V}$$

où

C est l'indice logarithmique de la tension de bruit en charge, mis à l'échelle pour 0 dB = 1 μV ;

T est l'indice logarithmique de la tension de bruit total, mis à l'échelle pour 0 dB = 1 μV ;

S est l'indice logarithmique de la tension de bruit du système, mis à l'échelle pour 0 dB = 1 μ V.

Ce qui donne l'équation suivante

$$\left(10^{\frac{C}{20 \text{ dB}}}\right)^2 = \left(10^{\frac{T}{20 \text{ dB}}}\right)^2 - \left(10^{\frac{S}{20 \text{ dB}}}\right)^2$$

La résolution de cette équation pour C en isolant T donne l'expression suivante

$$C = T + 10 \lg \left(1 - 10^{-\left[\frac{T-S}{10 \text{ dB}} \right]} \right) \text{ dB}$$

ce qui permet d'isoler un terme pour la contribution du bruit du système en fonction du bruit total, $f(T - S)$

$$C = T - f(T - S).$$

Cette fonction de la différence entre le bruit total et le bruit du système est par conséquent définie comme

$$f(T - S) = -10 \lg \left(1 - 10^{-\left[\frac{T-S}{10 \text{ dB}} \right]} \right) \text{ dB}$$

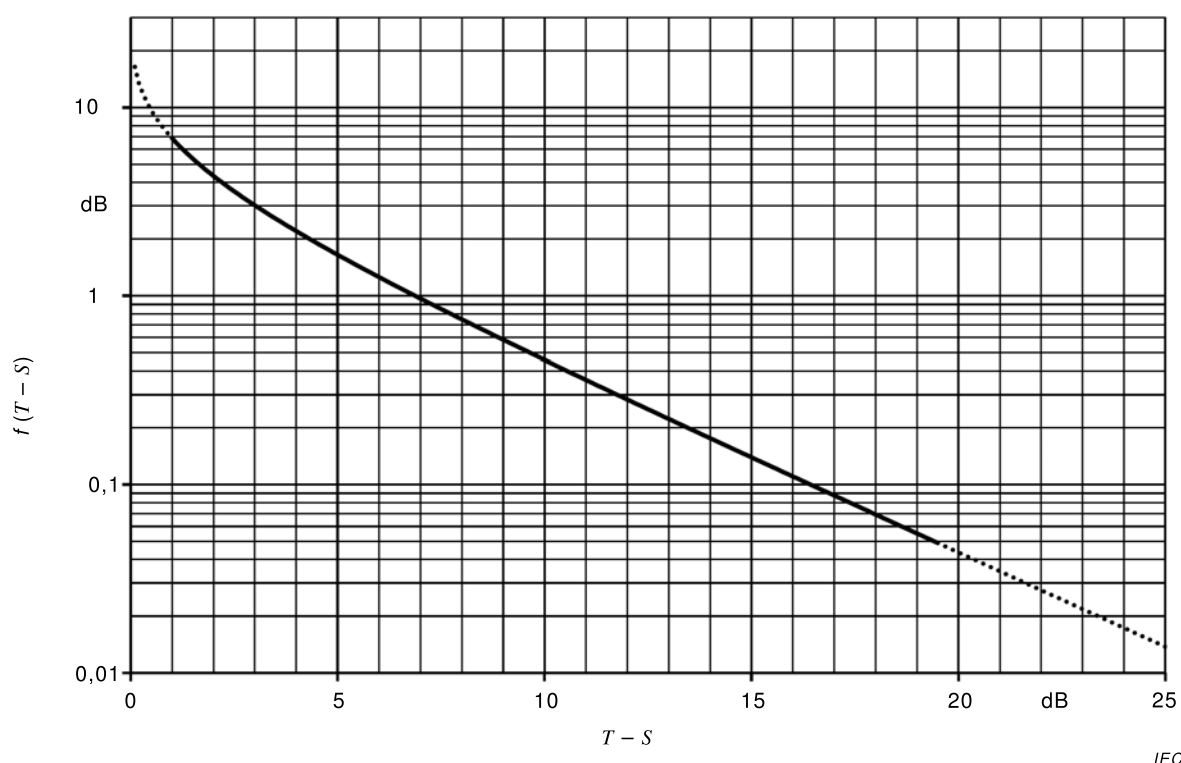


Figure 3 – Contribution du bruit du système, $f(T - S)$

La Figure 3 représente le résultat du tracé de $f(T - S)$ en fonction de $(T - S)$ et les considérations spéciales présentées ci-dessous.

- La précision de la détermination du bruit en charge se détériore si le bruit total devient proche du bruit du système, ce qui est le cas lorsque $(T - S) < 1,0$ dB. Dans un tel cas, le rapport contenant les valeurs apparemment précises pour l'indice de bruit en charge A_1 n'est plus approprié.
- La contribution du bruit du système peut être ignorée si $f(T - S)$ ne donne pas un résultat qui, arrondi à une décimale, vaut au moins 0,1 dB. C'est le cas pour $(T - S) > 19,5$ dB.

Par commodité pour le lecteur, le Tableau 3 donne des valeurs numériques de la contribution du bruit du système, arrondie à une décimale.

Tableau 3 – Valeurs numériques de la contribution du bruit du système, $f(T - S)$

$T - S$ dB	$f(T - S)$ dB	$T - S$ dB	$f(T - S)$ dB	$T - S$ dB	$f(T - S)$ dB
<1,0	7,0 ^a	2,9	3,1	5,0	1,7
1,0	6,9	3,0	3,0	5,1	1,6
1,1	6,5	3,1	2,9	5,2	1,6
1,2	6,2	3,2	2,8	5,3	1,5
1,3	5,9	3,3	2,7	5,4	1,5
1,4	5,6	3,4	2,7	5,5 à 5,7	1,4
1,5	5,3	3,5	2,6	5,8 à 6,0	1,3
1,6	5,1	3,6	2,5	6,1 à 6,3	1,2
1,7	4,9	3,7	2,4	6,4 à 6,6	1,1
1,8	4,7	3,8	2,3	6,7 à 7,0	1,0
1,9	4,5	3,9	2,3	7,1 à 7,5	0,9
2,0	4,3	4,0	2,2	7,6 à 7,9	0,8
2,1	4,2	4,1	2,1	8,0 à 8,5	0,7
2,2	4,0	4,2	2,1	8,6 à 9,2	0,6
2,3	3,9	4,3	2,0	9,3 à 10,0	0,5
2,4	3,7	4,4	2,0	10,1 à 11,1	0,4
2,5	3,6	4,5	1,9	11,2 à 12,5	0,3
2,6	3,5	4,6	1,8	12,6 à 14,6	0,2
2,7	3,3	4,7	1,8	14,7 à 19,4	0,1
2,8	3,2	4,8	1,7	≥ 19,5	0
2,8	3,2	4,9	1,7		

^a Il convient d'appliquer la valeur $f(T - S) = 7$ dB donnée pour $(T - S) < 1,0$ dB uniquement pour la détermination d'un indice de bruit en charge maximal $A_{1 \max}$.

6.2 Détermination de l'indice de bruit en charge A_1

L'indice de bruit en charge dans une décade de fréquence, A_1 , est déterminé par le rapport de la tension de bruit en charge dans une décade de fréquence, E_c , sur la tension continue appliquée U_T .

L'indice mathématique A_1' est basé sur le rapport de la tension de bruit en charge sur la tension continue, en tenant compte des multiples de leur unité en volt, qui, avec leurs indices logarithmiques C' et D , s'écrit

$$A_1' = C' - D$$

où

C' est l'indice logarithmique de la tension de bruit en charge, mis à l'échelle pour 0 dB = 1 V;

D est l'indice logarithmique de la tension continue U_T appliquée au spécimen, mis à l'échelle pour 0 dB = 1 V.

L'indice pratique A_1 est basé sur le rapport de la tension de bruit en charge sur la tension continue, dans leurs unités et multiples respectifs, qui, avec leurs indices logarithmiques C et D , s'écrit

$$A_1 = C - D$$

où

C est l'indice logarithmique de la tension de bruit en charge, mis à l'échelle pour 0 dB = 1 µV.

La différence de 120 dB entre les deux indices A_1' et A_1

$$A_1 = A_1' - 120 \text{ dB}.$$

est généralement négligée.

L'application de la définition de $f(T - S)$ ci-dessus (voir 6.1) donne l'équation normalisée suivante pour déterminer l'indice de bruit en charge A_1

$$A_1 = T - f(T - S) - D$$

Les valeurs de l'indice de bruit en charge T , de l'indice de bruit du système S , tous les deux mis à l'échelle pour 0 dB = 1 µV, et de l'indice D de la tension continue appliquée U_T , mis à l'échelle pour 0 dB = 1 V, doivent être utilisées pour calculer l'indice de bruit en charge A_1 .

La considération spéciale suivante s'applique.

Si le bruit total mesuré devient proche du bruit du système mesuré, c'est-à-dire si

$$(T - S) < 1,0 \text{ dB}$$

et donc la précision de la détermination se détériore, il n'est pas recommandé d'utiliser cette méthode pour déterminer un indice de bruit en charge A_1 avec une précision prétendue.

Dans un tel cas, il convient de rapporter le bruit en charge uniquement comme étant un bruit en charge inférieur à un indice de bruit en charge maximal $A_{1 \text{ max}}$, qui est déterminé par

$$A_{1 \text{ max}} = T - 7 \text{ dB} - D$$

6.3 Détermination du rapport de tension de bruit en charge CNR_U

Le rapport de tension de bruit en charge dans une décade de fréquence CNR_U

$$CNR_U = \frac{E_c}{U_T}$$

s'obtient à partir d'un indice de bruit en charge établi A_1 par l'équation

$$CNR_U = 10^{\frac{A_1}{20 \text{ dB}}} \cdot \frac{\mu\text{V}}{\text{V}}$$

6.4 Précision

La précision de la mesure de la tension de bruit doit être de $\pm 0,75$ dB. La précision des déterminations de l'indice de bruit en charge doit être de ± 1 dB lorsque le bruit en charge est grand par rapport au bruit du système, c'est-à-dire ($T - S$) est supérieur à 15 dB.

Il n'est pas rare que certaines résistances produisent des variations de mesure du bruit supérieures à 0,75 dB. Il convient donc de reconnaître que l'absence d'accord sur des mesures répétées de telles résistances ne reflète pas nécessairement un manque de précision du système de mesure, mais indique une propriété du bruit de la résistance.

6.5 Exigences

Les critères d'acceptation pour le bruit en charge des produits soumis aux essais doivent être donnés en faisant référence à un indice de bruit en charge maximal exigé A_1 dans la spécification de composant applicable.

Il convient d'indiquer de tels critères d'acceptation à l'aide d'une valeur maximale fixe, typiquement donnée en fonction de la résistance en essai.

7 Renseignements que doit fournir la spécification de composant applicable

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification de composant applicable, les détails suivants doivent être donnés s'ils sont exigés ou applicables:

	Paragraphe
Les conditions environnementales pour cette mesure	5.1
La dissipation à fournir par la tension continue appliquée	5.3.4, Tableau 2
Une limitation de la tension continue appliquée, le cas échéant	5.3.4, Tableau 2
La spécification de composant applicable doit spécifier:	
	Paragraphe
Les critères d'acceptation de l'indice de bruit en charge A_1	6.5

Annexe A (informative)

Symboles littéraux et abréviations

A.1 Symboles littéraux

A	Valeur sans dimension représentant la zone d'une bande passante dans le graphe du gain en fonction de la fréquence	1
A_1	Indice de bruit en charge dans une décade de fréquence (voir 3.2)	dB
C	Indice logarithmique de la tension de bruit en charge	dB
D	Indice logarithmique de la tension continue de polarisation	dB
$e(f)$	Tension instantanée du bruit en charge en fonction de la fréquence	μV
e_{th}	Tension instantanée de bruit thermique	μV
E_c	Tension efficace de bruit en charge	μV
E_s	Tension efficace de bruit du système	μV
E_t	Tension efficace de bruit total	μV
E_{th}	Tension efficace de bruit thermique	μV
f	Fréquence	Hz
f_1	Fréquence de coupure inférieure d'un filtre passe-bande	Hz
f_2	Fréquence de coupure supérieure d'un filtre passe-bande	Hz
f_c	Fréquence centrale d'un filtre passe-bande	Hz
Δf	Bande passante d'un filtre passe-bande	Hz
I	courant	A
k	Constante de Boltzmann, $k \approx 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	J/K
R	Résistance	Ω
R_{Cal}	Valeur de la résistance d'étalonnage	Ω
R_M	Valeur de la résistance d'isolement	Ω
R_T	Résistance du spécimen	Ω
S	Indice logarithmique de la tension de bruit du système	dB
S_k	Indice logarithmique de la tension de bruit du système avec les bornes en court-circuit	dB
S_o	Indice logarithmique de la tension de bruit du système avec les bornes en circuit ouvert	dB
T	Indice logarithmique de la tension de bruit total	dB
T	Température absolue	K
U_{Cal}	Tension d'étalonnage	V
$U_{\text{N rms}}$	Tension alternative de bruit en valeur efficace	μV
U_T	Tension continue d'essai appliquée au spécimen	V

A.2 Abréviations

BPA	Amplificateur passe-bande (<i>Band-Pass Amplifier</i>)
G	Source d'étalonnage, générateur de courant alternatif
P	Alimentation en courant continu
S	Interrupteur (<i>Switch</i>)

Annexe X (informative)

Correspondance des références par rapport à l'édition précédente de la présente norme

La révision de la présente norme a donné lieu à une nouvelle numérotation des articles. Le Tableau X.1 donne une correspondance entre les numéros des articles de cette édition et ceux de la première édition de la présente norme.

Tableau X.1 – Correspondance des références par
rapport à la première édition de la présente norme

IEC 60195:1965 1 ^{ère} édition	IEC 60195:201X 2 ^{ème} édition	Notes
Article	Article	
1	1	Objet et domaine d'application fusionnés dans un nouvel article.
2		
3	3 4.1	–
4	4.3 4.4	–
4.1	4.4.1 4.4.2	–
4.2	4.2 4.4.3 4.4.4	–
4.3	4.4.6 4.4.8 4.4.9	–
4.4	4.3.1	–
5	4.4.6	–
6	5	–
6.1	5.3.2	–
6.2	5.3.3	–
6.3	5.3.4	–
6.4	6	–
7	6.3	–
8	–	Le contenu de l'Article 8 précédent est réparti dans de nouveaux paragraphes, voir ci-dessous
8.1	4.4	–
8.2	5.4	–
8.3	4.5	–
Tableau I	Tableau 2	Le Tableau 2 a été modifié pour harmoniser l'affectation des résistances R_M suggérées avec les valeurs indiquées de R_T . Le Tableau 2 a été modifié avec un nouveau jeu de conditions de fonctionnement recommandées pour un spécimen avec $P_r < 0,1$ W.
Tableau II	Figure 3 Tableau 3	Le Tableau 3 a été recalculé avec l'équation donnée.

Bibliographie

IEC 60027 (toutes les parties), *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

MIL-STD-202G, Method 308 “Current-Noise Test for Fixed Resistors”, 1961

G. T. Conrad, Jr., N. Newman, A.P. Stansbury, „*A Recommended Standard Resistor-Noise Test System*”, IRE Transactions on Component Parts, Volume CP-7, pp. 1-18; September 1960

Hameg Instruments, Professional Article “*What is noise?*”, 2009

N. Newman, G. T. Conrad, Jr., “*Discussion of errors of a Recommended Standard Resistor-Noise Test System*”, IRE Transactions on Component Parts, Volume CP-9, pp. 180-192; December 1962

NoiseKen Noise Laboratory Co., Ltd, “*Resistor Current Noise Tester RCN-2011*”, Datasheet, 2012

Quan-Tech, Division of KMS Industries, Inc., “*Model 315B Resistor Noise Test Set*”, Instruction Manual, 1973

Quan-Tech, Division of KMS Industries, Inc., “*Model 315C Resistor Noise Test Set*”, Instruction Manual

F. Zandman, P.-R. Simon, J. Szwarc, “*Resistor Theory and Technology*”, ISBN 189112112X, 2002

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch