

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Method of measurement of non-linearity in resistors

Méthode de mesure de la non-linéarité des résistances





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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.



IEC 60440

Edition 1.0 2012-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Method of measurement of non-linearity in resistors

Méthode de mesure de la non-linéarité des résistances

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

Q

ICS 31.040

ISBN 978-2-83220-228-9

**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.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Method of measurement	6
4.1 Measurement principle	6
4.2 Measuring circuit.....	8
4.3 Measurement system requirements	9
4.3.1 Measuring frequency	9
4.3.2 Noise level of the measuring system.....	9
4.3.3 Third harmonic ratio of the measuring system.....	9
4.3.4 Power amplifier.....	9
4.3.5 Voltmeter.....	10
4.3.6 Filter.....	10
4.3.7 Test fixture	10
4.4 Verification of the measuring system	10
5 Measurement procedure.....	10
5.1 Environmental conditions	10
5.2 Preparation of specimen.....	10
5.3 Measurement conditions.....	10
5.4 Procedure	11
5.5 Precautions	11
6 Evaluation of measurement results	11
6.1 Evaluation	11
6.2 Requirements.....	12
7 Information to be given in the relevant component specification.....	12
Annex A (informative) Reference to IEC/TR 60440	15
Bibliography.....	16
Figure 1 – Equivalent circuit at the fundamental frequency	6
Figure 2 – Equivalent circuit at the third harmonic frequency	7
Figure 3 – Corrective term Δ	8
Figure 4 – Block schematic of a suitable measuring system	9
Table 1 – Recommended measuring conditions (1 of 2)	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHOD OF MEASUREMENT OF NON-LINEARITY IN 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 60440 has been prepared by committee 40: Capacitors and resistors for electronic equipment.

This International Standard cancels and replaces the Technical Report IEC/TR 60440, published in 1973.

The major changes with regard to the Technical Report are:

- change of the principle parameter's term from "third harmonic attenuation" to "third harmonic ratio";
- addition of advice on the prescription of requirements in a relevant component specification;
- addition of a set of recommended measuring conditions for a specimen with a rated dissipation of less than 100 mW;
- a complete editorial revision.

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

FDIS	Report on voting
40/2155/FDIS	40/2167/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 web site 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 NON-LINEARITY IN RESISTORS

1 Scope

Non-linearity testing is a method to evaluate the integrity of a resistive element. It may be applied as an effective inline screening method suitable to detect and eliminate potential infant mortality failures in passive components. The method is fairly rapid, convenient, and the associated equipment is relatively inexpensive.

Typical effects causing non-linearity on resistors are e.g. inhomogeneous spots within a resistive film, traces of film left in the spiraling grooves, or contact instability between a connecting lead or termination and the resistive element.

This International Standard specifies a method of measurement and associated test conditions to assess the magnitude of non-linear distortion generated in a resistor. This method 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, *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

electromotive force

e.m.f.

difference in potential that tends to give rise to an electric current

3.2

non-linearity

deviation of a component's impedance from Ohm's law, resulting in voltage of harmonic frequencies when subjected to sinusoidal current

3.3

third harmonic ratio

A_3

ratio of the fundamental voltage over the e.m.f. of the third harmonic

Note 1 to entry: The third harmonic ratio is expressed in dB.

Note 2 to entry: The third harmonic ratio has been addressed before as third harmonic attenuation. This historic convention is misleading as it wrongly suggests harmonic frequencies originating from the test equipment being attenuated or filtered by the components under test. The misleading term should therefore be avoided.

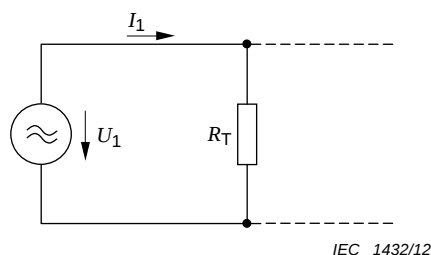
4 Method of measurement

4.1 Measurement principle

A pure sinusoidal current is passed through the component under test. If the impedance of the component is not perfectly linear, the voltage across the component will be distorted and contain harmonics. One or more of these harmonics can be measured and the magnitude of these distortions is a measure of the non-linearity in the component. It is recommended to measure the third harmonic, as it is the dominant one.

The third harmonic voltage appearing across a component needs to be separated from the fundamental voltage and from any other harmonic voltage for the measurement. This is accomplished by a filter circuit letting the harmonic voltage pass through while featuring very high impedance at the fundamental frequency. Also, the generator of the fundamental frequency needs to feature very high impedance at the third harmonic frequency so as not to act as a load to the generated distortions.

Hence, the equivalent circuit of the generator part operating at the fundamental frequency is quite simple, as shown in Figure 1.

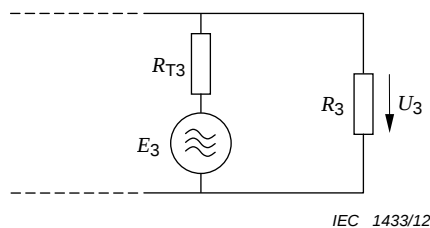


Key

- I_1 Sinusoidal current
- U_1 Fundamental voltage across the resistor under test
- R_T Impedance of the resistor under test at the fundamental frequency

Figure 1 – Equivalent circuit at the fundamental frequency

The equivalent circuit for the third harmonic frequency is built around the test specimen represented by a linear impedance with a zero-impedance harmonic generator in series. This signal source loads the measuring system represented by its impedance as seen from the test terminals, see Figure 2.

**Key**

- E_3 e.m.f. of the third harmonic
 R_{T3} Impedance of the resistor under test at the third harmonic frequency
 R_3 Impedance of the measuring circuit at the third harmonic frequency, seen from the test terminals
 U_3 Third harmonic voltage

Figure 2 – Equivalent circuit at the third harmonic frequency

In this circuit the e.m.f. of the third harmonic E_3 is divided into the measurable third harmonic voltage U_3

$$U_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_{T3}} \cdot E_3 \quad (1)$$

Hence, the e.m.f. of the third harmonic E_3 in the component can be determined by

$$E_3 = \left(1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right) \cdot U_3 \quad (2)$$

The corrective term Δ for the reduction of U_3 to the origin E_3 is

$$\Delta = 20 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right) \quad (3)$$

In many cases it can be shown for a range of resistors under test that the impedance R_{T3} at the third harmonic frequency is equal or very close to the impedance R_T at the fundamental frequency. Then the corrective term Δ in decibels is

$$\Delta = 20 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{R_T}{R_3} \right) \quad (4)$$

NOTE 1 For fixed film resistors this equality of R_{T3} and R_T can generally be assumed with sufficient accuracy.

Numeric values for the corrective term Δ can be obtained from Figure 3 or for specific sets of impedance R_3 and specimen resistance R_T from Table 1.

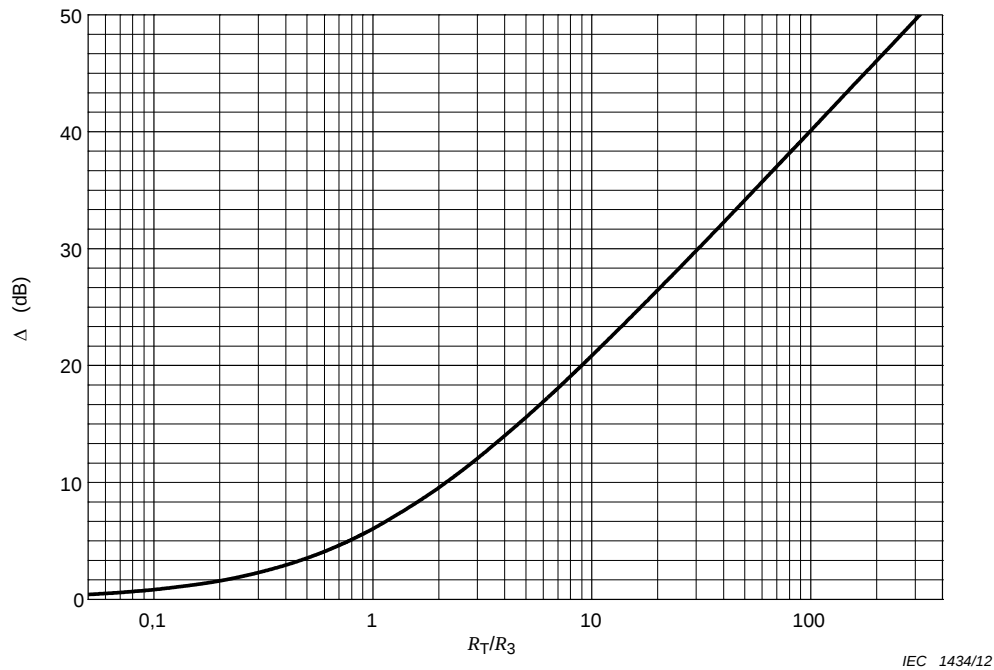


Figure 3 – Corrective term Δ

A suitable range for the fundamental frequency f_1 for measurements on resistors is between 10 kHz and 40 kHz. This frequency range enables the test circuit to be set up without too much difficulty.

NOTE 2 Another method is using a bridge which is balanced at the fundamental frequency, where the harmonics appear across the bridge diagonal. This method requires individual balancing of the bridge for each specimen, which may be suitable for occasional use in a laboratory environment.

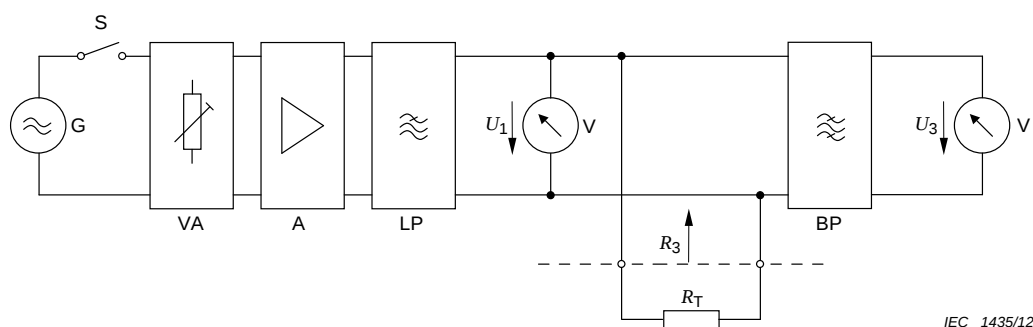
4.2 Measuring circuit

Figure 4 shows a block schematic of a suitable measuring circuit.

A distortion-free impedance matching device may be used to switch R_3 in order to achieve good matching to the test specimen R_T . Examples of suitable values of R_3 are 10 Ω ; 100 Ω ; 1 k Ω ; 10 k Ω and 100 k Ω ; these values are used for specifying the test conditions in Table 1.

The suitability of the measuring circuit for measurements on resistors with resistance values covering a wide range depends on the lowest and highest available impedance R_3 of the circuit. The range of values for R_3 proposed above grants suitability for measurements on specimen R_T with their resistance being in the range of 1 Ω to at least 10 M Ω .

However, there is an overriding influence of the correcting term Δ depending on the ratio of resistance under test R_T over impedance R_3 , see Table 1 and Figure 3.

**Key**

- G Oscillator, at the fundamental frequency f_1
- S Switch for applying the test signal to the test specimen
- VA Variable attenuator
- A Power amplifier
- LP Low-pass filter
- U_1 r.m.s. voltage at the fundamental frequency f_1
- BP Band-pass filter
- U_3 r.m.s. voltage at the third harmonic frequency f_3
- R_T Resistor under test
- R_3 Impedance of the measuring circuit at the third harmonic frequency f_3 , seen from the test terminals.

Figure 4 – Block schematic of a suitable measuring system**4.3 Measurement system requirements****4.3.1 Measuring frequency**

The fundamental frequency f_1 shall be 10 kHz and thus the third harmonic frequency f_3 shall be 30 kHz, unless otherwise specified in the relevant component specification.

4.3.2 Noise level of the measuring system

The noise level referred to the test terminals shall not be higher than 0,2 μV at $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$.

4.3.3 Third harmonic ratio of the measuring system

The third harmonic ratio $20 \cdot \log_{10}(U_1/E_3)$ shall be higher than 140 dB for most of the impedance range when the required dissipation P is applied to a virtually linear component.

The required dissipation is 0,25 VA, as given in Table 1, or a value prescribed by the relevant component specification, e.g with reference to the rated dissipation.

4.3.4 Power amplifier

The power amplifier shall be capable of delivering an apparent power of four times the required dissipation into a resistive component under test, in order to ensure sufficient linearity.

Hence, the power amplifier shall be capable of delivering an apparent power of 1 VA if the required dissipation is 0,25 VA as given in Table 1.

4.3.5 Voltmeter

The error of the voltmeter for measurement of the voltage U_1 at the fundamental frequency shall be less than 5 % of its full scale deflection.

The error of the voltmeter for measurement of the voltage U_3 at the third harmonic frequency shall be less than 10 % of its full scale deflection.

4.3.6 Filter

The cut-off frequency of the low-pass filter shall be immediately above the fundamental frequency f_1 .

The band-pass filter shall permit the third-harmonic frequency f_3 to pass through, while it shall provide very high attenuation at the fundamental frequency f_1 .

Precautions shall be taken to avoid non-linear distortion from the components near the test specimen in the low-pass and band-pass filters. The filter inductors for instance shall not contain cores of magnetic material.

4.3.7 Test fixture

The test fixture for the specimen R_T shall be capable of providing safe electrical connection.

4.4 Verification of the measuring system

Reference resistors with known non-linearity shall be used to verify the integrity of the measuring system.

5 Measurement procedure

5.1 Environmental conditions

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under standard atmospheric conditions for measurement and tests as specified in IEC 60068-1.

5.2 Preparation of specimen

The specimen shall be kept for at least 2 h in the environmental conditions prescribed in 5.1.

5.3 Measurement conditions

The choice of system impedances R_3 is determined by the properties of the actual measurement system. Table 1 is based on examples of suitable values for R_3 .

The fundamental test voltage U_1 shall be chosen from Table 1, unless otherwise specified in the relevant component specification, e.g. relative to the rated dissipation.

Analysis shows that the third harmonic ratio depends significantly on the choice of the fundamental voltage as the readings of the third harmonic voltage U_3 show an exponential relationship over the ratio of applied fundamental voltages. Comparison of the non-linearity of different products should therefore always be based on identical prescriptions for dissipation and voltage limitation in order to define an identical fundamental voltage for each resistance value.

The application of the fundamental voltage results in a dissipation, and thus in a temperature rise within the specimen. Depending on its temperature coefficient of resistance (TCR), the

specimen resistance will change, which will change the actual applied fundamental voltage. Depending on the respective temperature rise and TCR, this effect may be insignificant or not. Limiting the duration of the application of the fundamental voltage may be a suitable way out of this problem, if set below the thermal time constant of the specimen.

The relevant component specification shall state respective requirements, if applicable.

5.4 Procedure

The specimen shall be inserted into the test fixture and properly connected to the test terminals.

The system impedance R_3 shall be selected in order to achieve the best possible impedance matching.

The fundamental voltage shall be applied, e.g. by closing the switch S in a system according to Figure 4, and adjusted to the prescribed value.

The third harmonic voltage U_3 shall be read.

The application of the fundamental voltage shall not exceed the prescribed duration, if applicable.

5.5 Precautions

Ferromagnetic materials give rise to harmonic distortion and care shall be taken to avoid influence from e.g. iron in the immediate vicinity of the component which can mask component non-linearities especially at high currents.

6 Evaluation of measurement results

6.1 Evaluation

The reading of the third harmonic voltage U_3 shall be used to calculate the third harmonic ratio.

The third harmonic ratio A_3 in decibels is

$$\begin{aligned} A_3 &= 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{E_3} \\ &= 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{U_{\text{ref}}} - 20 \cdot \log_{10} \frac{E_3}{U_{\text{ref}}} \\ &= 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{U_{\text{ref}}} - 20 \cdot \log_{10} \frac{U_3}{U_{\text{ref}}} - 20 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

where

U_1 is the fundamental voltage across the resistor under test

U_{ref} is the basis for voltage ratios, arbitrarily set

E_3 is the e.m.f. of the third harmonic in the component

U_3 is the measured third harmonic voltage

R_{T3} is the impedance of the resistor under test at the third harmonic frequency

R_3 is the impedance of the measuring circuit at the third harmonic frequency, seen from the test terminals (source impedance)

In Equation (5), the logarithmic term describing the fundamental voltage may be abbreviated as D with

$$D = 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{U_{\text{ref}}} \quad (6)$$

NOTE The calculation of the third harmonic ratio requires a common U_{ref} for all used logarithms of voltage ratios; throughout this standard, $U_{\text{ref}} = 1 \text{ V}$ is used for the 0 dB reference level.

The abbreviation of a logarithmic expression $20 \cdot \log_{10}(U/U_{\text{ref}})$ to $20 \cdot \log_{10}U$ is mathematically incorrect and particularly bears the risk of confusion when the used reference voltage is no longer considered. Hence the abbreviated form is not an appropriate expression.

With the above definitions of D in Equation (6) and of Δ in 4.1, Equation (5) can be simplified to

$$A_3 = D - 20 \cdot \log_{10} \frac{U_3}{U_{\text{ref}}} - \Delta \quad (7)$$

6.2 Requirements

Acceptance criteria for non-linearity of tested products shall be given with reference to a required minimum third harmonic ratio A_3 in the relevant component specification.

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

Superior selectivity of non-linearity screening is achievable through the use of a dynamic minimum value relative to the statistical distribution of non-linearity within an analyzed batch in addition to a fixed minimum value. Such dynamic requirement should be referenced to a batch's mean value and a multiple of its standard deviation, e.g. like $\geq \bar{A}_3 - 3\sigma$.

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 applicable:

	Subclause
a) the fundamental frequency	4.2
b) the environmental condition for this measurement	5.1
c) the dissipation to be provided through the fundamental voltage	5.3, Table 1
d) a limitation to the fundamental voltage, if applicable	5.3, Table 1
e) a limitation to the duration of application of the fundamental voltage, if applicable	5.3

The relevant component specification shall specify for its own purpose:

	Subclause
f) acceptance criteria to the third harmonic ratio A_3	6.2

Table 1 gives the values for the recommended impedance of the measuring circuit R_3 , for the corresponding corrective term Δ and for the fundamental voltage U_1 of the recommended measuring conditions for specimen R_T with a resistance in the range of 1 Ω to 22 M Ω .

Table 1 – Recommended measuring conditions (1 of 2)

R_3 Ω	R_T ^a Ω	Δ ^b dB	Specimen's rated dissipation P_r								
			$P_r \geq 0,25 \text{ W}$			$0,25 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
			U_1 ^c V	D ^d dB	P mW	U_1 ^c V	D ^d dB	P mW	U_1 ^c V	D ^d dB	P mW
10	1,0	0,8	0,50	-6,0	250	0,32	-10,0	100	0,22	-13,0	50
	1,2	1,0	0,55	-5,2	250	0,35	-9,2	100	0,24	-12,2	50
	1,5	1,2	0,61	-4,3	250	0,39	-8,2	100	0,27	-11,2	50
	1,8	1,4	0,67	-3,5	250	0,42	-7,4	100	0,30	-10,5	50
	2,2	1,7	0,74	-2,6	250	0,47	-6,6	100	0,33	-9,6	50
	2,7	2,1	0,82	-1,7	250	0,52	-5,7	100	0,37	-8,7	50
	3,3	2,5	0,91	-0,8	250	0,57	-4,8	100	0,41	-7,8	50
	3,9	2,9	0,99	-0,1	250	0,62	-4,1	100	0,44	-7,1	50
	4,7	3,3	1,08	0,7	250	0,69	-3,3	100	0,48	-6,3	50
	5,6	3,9	1,18	1,5	250	0,75	-2,5	100	0,53	-5,5	50
	6,8	4,5	1,30	2,3	250	0,82	-1,7	100	0,58	-4,7	50
	8,2	5,2	1,43	3,1	250	0,91	-0,9	100	0,64	-3,9	50
	10	6,0	1,58	4,0	250	1,00	0,0	100	0,71	-3,0	50
	12	6,8	1,73	4,8	250	1,10	0,8	100	0,77	-2,2	50
	15	8,0	1,94	5,7	250	1,22	1,8	100	0,87	-1,2	50
	18	8,9	2,12	6,5	250	1,34	2,6	100	0,95	-0,5	50
	22	10,1	2,35	7,4	250	1,48	3,4	100	1,05	0,4	50
	27	11,4	2,60	8,3	250	1,64	4,3	100	1,16	1,3	50
100	33	2,5	2,87	9,2	250	1,82	5,2	100	1,28	2,2	50
	39	2,9	3,12	9,9	250	1,97	5,9	100	1,40	2,9	50
	47	3,3	3,43	10,7	250	2,17	6,7	100	1,53	3,7	50
	56	3,9	3,74	11,5	250	2,37	7,5	100	1,67	4,5	50
	68	4,5	4,12	12,3	250	2,61	8,3	100	1,84	5,3	50
	82	5,2	4,53	13,1	250	2,86	9,1	100	2,02	6,1	50
	100	6,0	5,00	14,0	250	3,16	10,0	100	2,24	7,0	50
	120	6,8	5,48	14,8	250	3,46	10,8	100	2,45	7,8	50
	150	8,0	6,12	15,7	250	3,87	11,8	100	2,74	8,8	50
	180	8,9	6,71	16,5	250	4,24	12,6	100	3,00	9,5	50
	220	10,1	7,42	17,4	250	4,69	13,4	100	3,32	10,4	50
	270	11,4	8,22	18,3	250	5,20	14,3	100	3,67	11,3	50
1 k	330	2,5	9,08	19,2	250	5,74	15,2	100	4,06	12,2	50
	390	2,9	9,87	19,9	250	6,24	15,9	100	4,42	12,9	50
	470	3,3	10,8	20,7	250	6,86	16,7	100	4,85	13,7	50
	560	3,9	11,8	21,5	250	7,48	17,5	100	5,29	14,5	50
	680	4,5	13,0	22,3	250	8,25	18,3	100	5,83	15,3	50
	820	5,2	14,3	23,1	250	9,06	19,1	100	6,40	16,1	50
	1,0 k	6,0	15,8	24,0	250	10,0	20,0	100	7,07	17,0	50
	1,2 k	6,8	17,3	24,8	250	11,0	20,8	100	7,75	17,8	50
	1,5 k	8,0	19,4	25,7	250	12,2	21,8	100	8,66	18,8	50
	1,8 k	8,9	21,2	26,5	250	13,4	22,6	100	9,49	19,5	50
	2,2 k	10,1	23,5	27,4	250	14,8	23,4	100	10,5	20,4	50
	2,7 k	11,4	26,0	28,3	250	16,4	24,3	100	11,6	21,3	50
10 k	3,3 k	2,5	28,7	29,2	250	18,2	25,2	100	12,8	22,2	50
	3,9 k	2,9	31,2	29,9	250	19,7	25,9	100	14,0	22,9	50
	4,7 k	3,3	34,3	30,7	250	21,7	26,7	100	15,3	23,7	50
	5,6 k	3,9	37,4	31,5	250	23,7	27,5	100	16,7	24,5	50
	6,8 k	4,5	41,2	32,3	250	26,1	28,3	100	18,4	25,3	50
	8,2 k	5,2	45,3	33,1	250	28,6	29,1	100	20,2	26,1	50

Table 1 (2 of 2)

R_3 Ω	R_T ^a Ω	Δ ^b dB	Specimen's rated dissipation P_r								
			$P_r \geq 0,25 \text{ W}$			$0,25 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
			U_1^c V	D^d dB	P mW	U_1^c V	D^d dB	P mW	U_1^c V	D^d dB	P mW
10 k	10 k	6,0	50,0	34,0	250	31,6	30,0	100	22,4	27,0	50
	12 k	6,8	54,8	34,8	250	34,6	30,8	100	24,5	27,8	50
	15 k	8,0	61,2	35,7	250	38,7	31,8	100	27,4	28,8	50
	18 k	8,9	67,1	36,5	250	42,4	32,6	100	30,0	29,5	50
	22 k	10,1	74,2	37,4	250	46,9	33,4	100	33,2	30,4	50
	27 k	11,4	82,2	38,3	250	52,0	34,3	100	36,7	31,3	50
100 k	33 k	2,5	90,8	39,2	250	57,4	35,2	100	40,6	32,2	50
	39 k	2,9	98,7	39,9	250	62,4	35,9	100	44,2	32,9	50
	47 k	3,3	108	40,7	250	68,6	36,7	100	48,5	33,7	50
	56 k	3,9	118	41,5	250	74,8	37,5	100	52,9	34,5	50
	68 k	4,5	130	42,3	250	82,5	38,3	100	58,3	35,3	50
	82 k	5,2	143	43,1	250	90,6	39,1	100	64,0	36,1	50
	100 k	6,0	158	44,0	250	100	40,0	100	70,7	37,0	50
	120 k	6,8	173	44,8	250	110	40,8	100	77,5	37,8	50
	150 k	8,0	194	45,7	250	122	41,8	100	86,6	38,8	50
	180 k	8,9	212	46,5	250	134	42,6	100	94,9	39,5	50
	220 k	10,1	235	47,4	250	148	43,4	100	105	40,4	50
	270 k	11,4	260	48,3	250	164	44,3	100	116	41,3	50
	330 k	12,7	287	49,2	250	182	45,2	100	128	42,2	50
	390 k	13,8	312	49,9	250	197	45,9	100	140	42,9	50
	470 k	15,1	343	50,7	250	217	46,7	100	153	43,7	50
	560 k	16,4	374	51,5	250	237	47,5	100	167	44,5	50
	680 k	17,8	412	52,3	250	261	48,3	100	184	45,3	50
	820 k	19,3	453	53,1	250	286	49,1	100	202	46,1	50
	1,0 M	20,8	500	54,0	250	316	50,0	100	224	47,0	50
	1,2 M	22,3	548	54,8	250	346	50,8	100	245	47,8	50
	1,5 M	24,1	612	55,7	250	387	51,8	100	274	48,8	50
	1,8 M	25,6	671	56,5	250	424	52,6	100	300	49,5	50
	2,2 M	27,2	742	57,4	250	469	53,4	100	332	50,4	50
	2,7 M	28,9	822	58,3	250	520	54,3	100	367	51,3	50
	3,3 M	30,6	908	59,2	250	574	55,2	100	406	52,2	50
	3,9 M	32,0	987	59,9	250	624	55,9	100	442	52,9	50
	4,7 M	33,6	1 084	60,7	250	686	56,7	100	485	53,7	50
	5,6 M	35,1	1 183	61,5	250	748	57,5	100	529	54,5	50
	6,8 M	36,8	1 304	62,3	250	825	58,3	100	583	55,3	50
	8,2 M	38,4	1 432	63,1	250	906	59,1	100	640	56,1	50
	10 M	40,1	1 581	64,0	250	1 000	60,0	100	707	57,0	50
	12 M	41,7	1 732	64,8	250	1 095	60,8	100	775	57,8	50
	15 M	43,6	1 936	65,7	250	1 225	61,8	100	866	58,8	50
	18 M	45,2	2 121	66,5	250	1 342	62,6	100	949	59,5	50
	22 M	46,9	2 345	67,4	250	1 483	63,4	100	1 049	60,4	50
^a The parameters for other values of R_T than those shown here shall be calculated using the resistance R_T, the dissipation P and, if applicable, a limitation to the fundamental voltage U_1. ^b The given figures for the correction term Δ only apply if the measuring circuit uses the source impedances R_3 shown here. ^c A limitation may apply to the voltage at fundamental frequency, thereby limiting the value D and the actual dissipation P. ^d The decibel ratio D of the fundamental voltage is based upon $U_{\text{ref}} = 1 \text{ V}$ for the 0 dB reference level.											

Annex A (informative)

Reference to IEC/TR 60440

The drafting of this standard has resulted in a new structure. The following table indicates the new clause and subclause numbers with respect to the Technical Report, published in 1973.

IEC/TR 60440 ^a Clause/Subclause	IEC 60440:2012 1 st edition Clause/Subclause	Notes
1	1	Scope and object are merged into one
2		
—	2	New clause
—	3	New clause
3	4.1	—
4.0		
4.1	4.2	—
4.2		
4.3	4.1	—
4.4		
4.5	4.3	Divided into subclauses
4.6	5.1	—
4.7	4.3.7	—
5	5	Divided into subclauses
—	6	New clause
^a See Bibliography.		

Bibliography

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

IEC/TR 60440:1973, *Method of measurement of non-linearity in resistors*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

ISO 80000-1, *Quantities and units – Part 1: General*

Danbridge A/S, *“Reliability Testing of Nominally Linear Components by Measuring Third Harmonic Distortion”*, Application Note, 2002

Kühl, R.W. and Ewell, G.J., *“Third Harmonic Testing: Current Resistor Applications”*, Proceedings, 15th European Passive Components Symposium CARTS-EUROPE 2001, Copenhagen, Denmark, 2001, pp. 85 - 93.

Kuehl, R.W., *“Reliability of thin-film resistors: Impact of third harmonic screening”*, Microelectronics Reliability 42 (2002), pp. 807

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Références normatives	21
3 Termes et définitions	21
4 Méthode de mesure	22
4.1 Principe de mesure	22
4.2 Circuit de mesure	24
4.3 Exigences relatives au système de mesure	25
4.3.1 Fréquence de mesure	25
4.3.2 Niveau de bruit du système de mesure	25
4.3.3 Rapport de troisième harmonique du système de mesure	25
4.3.4 Amplificateur de puissance	25
4.3.5 Voltmètre	26
4.3.6 Filtre	26
4.3.7 Dispositif d'essai	26
4.4 Vérification du système de mesure	26
5 Procédure de mesure	26
5.1 Conditions environnementales	26
5.2 Préparation du spécimen	26
5.3 Conditions de mesure	26
5.4 Procédure	27
5.5 Précautions	27
6 Evaluation des résultats de mesure	27
6.1 Evaluation	27
6.2 Exigences	28
7 Informations à fournir dans la spécification applicable au composant	28
Annexe A (informative) Référence à la CEI/TR 60440	32
Bibliographie	33
Figure 1 – Circuit équivalent à la fréquence fondamentale	22
Figure 2 – Circuit équivalent à la fréquence de troisième harmonique	23
Figure 3 – Terme correctif Δ	24
Figure 4 – Schéma de principe d'un système de mesure adapté	25
Tableau 1 – Conditions de mesure recommandées (1 de 2)	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODE DE MESURE DE LA NON-LINÉARITÉ DES RÉSISTANCES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 60440 a été établie par le comité d'études 40 de la CEI: Condensateurs et résistances pour équipements électroniques.

La présente Norme internationale annule et remplace le Rapport technique CEI/TR 60440, paru en 1973.

Les modifications principales par rapport au Rapport technique sont les suivantes:

- modification du terme du paramètre principal d'«affaiblissement de troisième harmonique» en «rapport de troisième harmonique»;
- ajout de conseils sur la prescription d'exigences dans une spécification applicable au composant;
- ajout d'un ensemble de conditions de mesure recommandées pour un spécimen ayant une dissipation assignée inférieure à 100 mW;
- révision éditoriale complète.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
40/2155/FDIS	40/2167/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/CEI, 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 la CEI 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 DE MESURE DE LA NON-LINÉARITE DES RÉSISTANCES

1 Domaine d'application

Les essais de non-linéarité constituent une méthode d'évaluation de l'intégrité d'un élément résistif. Cette méthode peut être utilisée comme méthode de tri intégrée et efficace ayant pour but de détecter et d'éliminer les éventuelles défaillances de mortalité initiale des composants passifs. Cette méthode est assez rapide, appropriée, et le matériel associé est relativement peu onéreux.

Les effets typiques qui provoquent une non-linéarité des résistances sont par exemple des grains non homogènes à l'intérieur d'un film résistif, des traces de film laissées dans les rainures en spirale, ou une instabilité de contact entre le fil de connexion ou l'extrémité et l'élément résistif.

La présente Norme internationale spécifie une méthode de mesure et les conditions d'essais associées pour déterminer l'amplitude de la distorsion non linéaire générée dans une résistance. Cette méthode est appliquée si elle est prescrite par une spécification applicable au composant, ou si elle 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).

CEI 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

3 Termes et définitions

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

3.1

force électromotrice

f.é.m

différence de potentiel ayant tendance à donner lieu à un courant électrique

3.2

non-linéarité

écart de l'impédance d'un composant par rapport à la loi d'Ohm, entraînant une tension de fréquences harmoniques lorsqu'il est soumis à un courant sinusoïdal

3.3

rapport de troisième harmonique

A_3

rapport entre la tension fondamentale et la f.é.m. du troisième harmonique

Note 1 à l'article: Le rapport de troisième harmonique est exprimé en dB.

Note 2 à l'article: Le rapport de troisième harmonique a été traité avant comme un affaiblissement de troisième harmonique. Cette convention historique est erronée, dans la mesure où elle suggère à tort des fréquences harmoniques provenant de l'équipement d'essai, atténuées ou filtrées par les composants en essai. Il convient par conséquent d'éviter ce terme erroné.

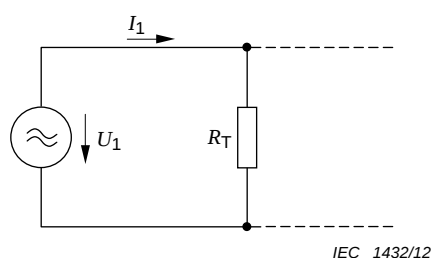
4 Méthode de mesure

4.1 Principe de mesure

Un courant rigoureusement sinusoïdal traverse le composant en essai. Si l'impédance de ce composant n'est pas parfaitement linéaire, la tension qui apparaît à ses bornes ne sera pas une tension sinusoïdale et contiendra donc des harmoniques. Un ou plusieurs de ces harmoniques peuvent être mesurés, et l'amplitude de ces distorsions est une mesure de la non-linéarité dans le composant. Il est recommandé de mesurer le troisième harmonique, dans la mesure où il s'agit de l'harmonique dominant.

La tension à la fréquence de troisième harmonique apparaissant aux bornes d'un composant doit être séparée de la tension fondamentale et de toute autre tension harmonique pour la mesure. Ceci est réalisé par un circuit filtrant laissant passer la tension harmonique tout en présentant une impédance très élevée à la fréquence fondamentale. De la même façon, il est nécessaire que le générateur de la fréquence fondamentale présente une impédance très élevée à la fréquence de troisième harmonique, afin de ne pas agir comme une charge sur les distorsions générées.

Par conséquent, le circuit équivalent de la partie générateur fonctionnant à la fréquence fondamentale est relativement simple, tel que représenté sur la Figure 1.

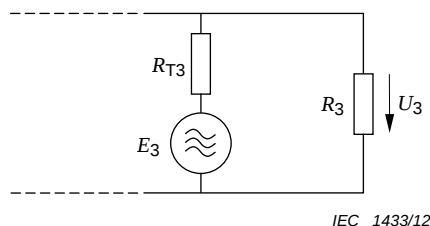


Légende

- I_1 Courant sinusoïdal
- U_1 Tension fondamentale à travers la résistance en essai
- R_T Impédance de la résistance en essai à la fréquence fondamentale

Figure 1 – Circuit équivalent à la fréquence fondamentale

Le circuit équivalent pour la fréquence de troisième harmonique est construit autour du spécimen en essai représenté par une impédance linéaire avec un générateur d'harmoniques en série, d'impédance nulle. Cette source de signal charge le système de mesure représenté par son impédance, tel que vu depuis les bornes d'essai, voir Figure 2.



Légende

- E_3 f.é.m. du troisième harmonique
 R_{T3} Impédance de la résistance en essai à la fréquence de troisième harmonique
 R_3 Impédance du circuit de mesure à la fréquence de troisième harmonique, vue depuis les bornes d'essai
 U_3 Tension à la fréquence de troisième harmonique

Figure 2 – Circuit équivalent à la fréquence de troisième harmonique

Dans ce circuit, la f.é.m. du troisième harmonique E_3 est divisée pour obtenir la tension à la fréquence de troisième harmonique mesurable U_3 .

$$U_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_{T3}} \cdot E_3 \quad (1)$$

Par conséquent, la f.é.m. du troisième harmonique E_3 dans le composant peut être déterminée par

$$E_3 = \left(1 + \frac{R_{T3}}{R_3}\right) \cdot U_3 \quad (2)$$

Le terme correctif Δ pour la réduction de U_3 par rapport à l'origine E_3 est

$$\Delta = 20 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{R_{T3}}{R_3}\right) \quad (3)$$

Dans de nombreux cas, il peut être démontré pour une gamme de résistances en essai que l'impédance R_{T3} à la fréquence de troisième harmonique est égale à ou très proche de l'impédance R_T à la fréquence fondamentale. Le terme correctif Δ en décibels est alors

$$\Delta = 20 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{R_T}{R_3}\right) \quad (4)$$

NOTE 1 Pour les résistances à film fixe, cette équivalence de R_{T3} et R_T peut généralement être supposée avec une précision suffisante.

Les valeurs numériques pour le terme correctif Δ peuvent être obtenues à partir de la Figure 3 ou pour les ensembles spécifiques d'impédance R_3 et de résistance du spécimen R_T du Tableau 1.

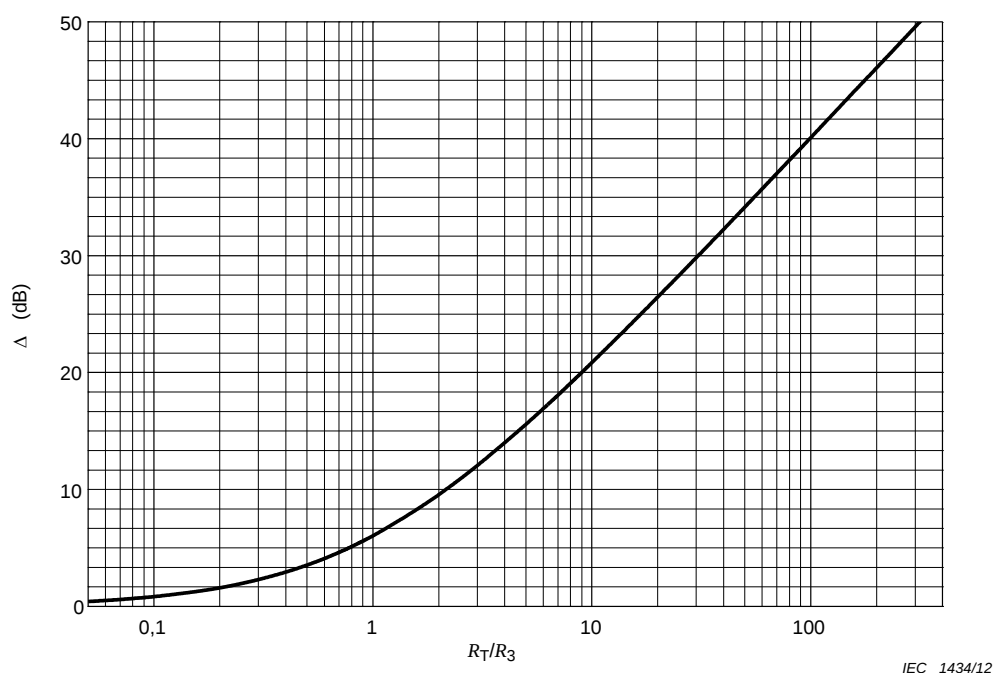


Figure 3 – Terme correctif Δ

Une gamme appropriée pour la fréquence fondamentale f_1 pour les mesures des résistances est comprise entre 10 kHz et 40 kHz. Cette gamme de fréquences permet de réaliser le circuit d'essai sans trop de difficultés.

NOTE 2 Une autre méthode consiste à utiliser un pont équilibré à la fréquence fondamentale, où les harmoniques apparaissent dans la diagonale du pont. Cette méthode exige un équilibrage individuel du pont pour chaque spécimen, qui peut être approprié pour une utilisation occasionnelle dans un environnement de laboratoire.

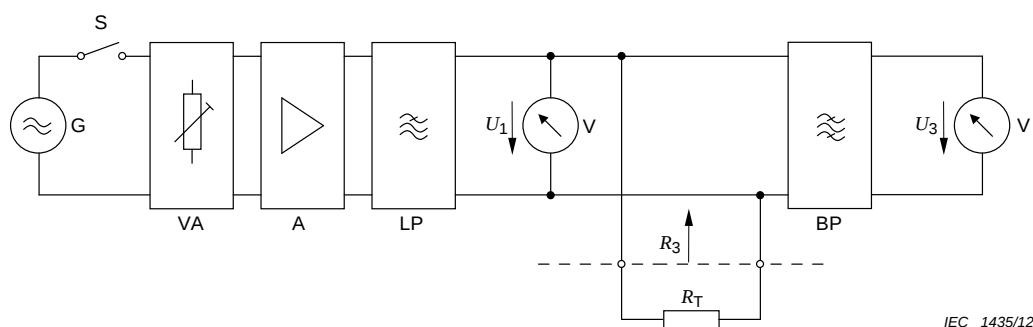
4.2 Circuit de mesure

La Figure 4 présente un schéma de principe d'un circuit de mesure adapté.

Un dispositif d'adaptation d'impédance exempt de distorsion peut être utilisé pour donner à R_3 la valeur la mieux adaptée à la valeur de la résistance en essai R_T . 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω ; 10 k Ω et 100 k Ω sont des exemples de valeurs convenables de R_3 ; ce sont ces valeurs qui sont utilisées pour spécifier les conditions d'essai dans le Tableau 1.

L'adéquation du circuit de mesure pour les mesures des résistances dont les valeurs couvrent une gamme étendue dépend de l'impédance disponible la plus basse et la plus élevée R_3 du circuit. La gamme de valeurs pour R_3 proposée ci-dessus permet de pouvoir réaliser des mesures sur les résistances R_T dont les valeurs sont comprises entre 1 Ω et au moins 10 M Ω .

Cependant, il existe une influence prépondérante du terme correctif Δ en fonction du rapport entre la résistance en essai R_T et l'impédance R_3 , voir Tableau 1 et Figure 3.



Légende

- G Oscillateur, à la fréquence fondamentale f_1
- S Interrupteur (*Switch*) pour appliquer le signal d'essai au spécimen en essai
- VA Affaiblisseur variable (*Variable attenuator*)
- A Amplificateur de puissance
- LP Filtre passe-bas (*Low-pass filter*)
- U_1 Tension efficace à la fréquence fondamentale f_1
- BP Filtre passe-bande (*Band-pass filter*)
- U_3 Tension efficace à la fréquence de troisième harmonique f_3
- R_T Résistance en essai
- R_3 Impédance du circuit de mesure à la fréquence de troisième harmonique f_3 , vue depuis les bornes d'essai.

Figure 4 – Schéma de principe d'un système de mesure adapté

4.3 Exigences relatives au système de mesure

4.3.1 Fréquence de mesure

La fréquence fondamentale f_1 doit être de 10 kHz et, par conséquent, la fréquence de troisième harmonique f_3 doit être de 30 kHz, sauf spécification contraire dans la spécification applicable au composant.

4.3.2 Niveau de bruit du système de mesure

Le niveau de bruit ramené aux bornes d'essai doit être inférieur ou égal à 0,2 μV à $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$.

4.3.3 Rapport de troisième harmonique du système de mesure

Le rapport de troisième harmonique $20 \cdot \log_{10}(U_1/E_3)$ doit être supérieur à 140 dB pour la plus grande partie de la gamme d'impédances, lorsque la dissipation exigée P est appliquée à un composant virtuellement linéaire.

La dissipation exigée est de 0,25 VA, telle que donnée dans le Tableau 1, ou une valeur prescrite par la spécification applicable au composant, par exemple par rapport à la dissipation assignée.

4.3.4 Amplificateur de puissance

L'amplificateur de puissance doit pouvoir délivrer une puissance apparente égale à quatre fois la dissipation exigée dans un composant résistif en essai, afin de garantir une linéarité suffisante.

Par conséquent, l'amplificateur de puissance doit pouvoir délivrer une puissance apparente de 1 VA si la dissipation exigée est de 0,25 VA, telle que donnée au Tableau 1.

4.3.5 Voltmètre

L'erreur du voltmètre pour la mesure de la tension U_1 à la fréquence fondamentale doit être inférieure à 5 % de déviation du cadran.

L'erreur du voltmètre pour la mesure de la tension U_3 à la fréquence de troisième harmonique doit être inférieure à 10 % de déviation du cadran.

4.3.6 Filtre

La fréquence de coupure du filtre passe-bas doit être immédiatement au-dessus de la fréquence fondamentale f_1 .

Le filtre passe-bande doit permettre à la fréquence de troisième harmonique f_3 de passer à travers, tout en devant fournir un affaiblissement très élevé à la fréquence fondamentale f_1 .

Des précautions doivent être prises pour éviter une distorsion non linéaire provenant des composants à proximité du spécimen en essai dans les filtres passe-bas et passe-bande. Par exemple, les inductances du filtre ne doivent pas comporter de noyaux magnétiques.

4.3.7 Dispositif d'essai

Le dispositif d'essai pour le spécimen R_T doit pouvoir fournir une connexion électrique sûre.

4.4 Vérification du système de mesure

Des résistances de référence avec une non-linéarité connue doivent être utilisées pour vérifier l'intégrité du système de mesure.

5 Procédure de mesure

5.1 Conditions environnementales

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être réalisés dans des conditions atmosphériques normalisées pour la mesure et les essais, tel que spécifié dans la CEI 60068-1.

5.2 Préparation du spécimen

Le spécimen doit être maintenu pendant au moins 2 h dans les conditions environnementales prescrites en 5.1.

5.3 Conditions de mesure

Le choix des impédances du système R_3 est déterminé par les propriétés du système de mesure réel. Le Tableau 1 est fondé sur des exemples de valeurs appropriées pour R_3 .

La tension d'essai fondamentale U_1 doit être choisie à partir du Tableau 1, sauf spécification contraire dans la spécification applicable au composant, par exemple concernant la dissipation assignée.

L'analyse montre que le rapport de troisième harmonique dépend en grande partie du choix de la tension fondamentale, dans la mesure où les valeurs lues de la tension de troisième harmonique U_3 présentent une relation exponentielle sur le rapport des tensions fondamentales appliquées. Par conséquent, il convient que la comparaison de la non-linéarité de différents produits soit toujours fondée sur des prescriptions identiques pour la limitation

de dissipation et de tension, afin de définir une tension fondamentale identique pour chaque valeur de résistance.

L'application de la tension fondamentale entraîne une dissipation et, par conséquent, un échauffement à l'intérieur du spécimen. Selon son coefficient de température de résistance (TCR, *temperature coefficient of resistance*), la résistance du spécimen variera, ce qui modifiera la tension fondamentale réelle appliquée. En fonction de l'échauffement et du coefficient de température de résistance respectifs, cet effet peut être négligeable ou non. Le fait de limiter la durée d'application de la tension fondamentale peut être un moyen d'échapper à ce problème, si elle est réglée en dessous de la constante de temps thermique du spécimen.

La spécification applicable au composant doit établir des exigences respectives, s'il y a lieu.

5.4 Procédure

Le spécimen doit être inséré dans le dispositif d'essai et être relié correctement aux bornes d'essai.

L'impédance du système R_3 doit être choisie, afin d'obtenir la meilleure adaptation d'impédance possible.

La tension fondamentale doit être appliquée, par exemple en fermant l'interrupteur S dans un système, conformément à la Figure 4, et ajustée à la valeur prescrite.

La tension à la fréquence de troisième harmonique U_3 doit être lue.

L'application de la tension fondamentale ne doit pas dépasser la durée prescrite, s'il y a lieu.

5.5 Précautions

Les matériaux ferromagnétiques causent des distorsions harmoniques; des précautions doivent être prises pour éviter l'influence provenant, par exemple, des métaux ferreux placés à proximité immédiate du composant, ce qui peut masquer les non-linéarités du composant, en particulier aux forts courants.

6 Evaluation des résultats de mesure

6.1 Evaluation

La lecture de la tension à la fréquence de troisième harmonique U_3 doit être utilisée pour calculer le rapport de troisième harmonique.

Le rapport de troisième harmonique A_3 en décibels est

$$\begin{aligned} A_3 &= 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{E_3} \\ &= 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{U_{\text{ref}}} - 20 \cdot \log_{10} \frac{E_3}{U_{\text{ref}}} \\ &= 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{U_{\text{ref}}} - 20 \cdot \log_{10} \frac{U_3}{U_{\text{ref}}} - 20 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

où

U_1 est la tension fondamentale à travers la résistance en essai

U_{ref} est la base pour les rapports de tension, fixée arbitrairement

- E_3 est la f.é.m. du troisième harmonique dans le composant
 U_3 est la tension mesurée à la fréquence de troisième harmonique
 R_{T3} est l'impédance de la résistance en essai à la fréquence de troisième harmonique
 R_3 est l'impédance du circuit de mesure à la fréquence de troisième harmonique, vue depuis les bornes d'essai (impédance de source)

Dans l'Equation (5), le terme logarithmique décrivant la tension fondamentale peut prendre l'abréviation D avec

$$D = 20 \cdot \log_{10} \frac{U_1}{U_{\text{ref}}} \quad (6)$$

NOTE Le calcul du rapport de troisième harmonique exige une tension U_{ref} commune pour tous les logarithmes utilisés des rapports de tension; dans l'ensemble de la présente norme, $U_{\text{ref}} = 1 \text{ V}$ est utilisée pour le niveau de référence de 0 dB.

L'abréviation d'une expression logarithmique $20 \cdot \log_{10}(U/U_{\text{ref}})$ en $20 \log_{10} U$ est mathématiquement incorrecte, et entraîne en particulier un risque de confusion lorsque la tension de référence utilisée n'est plus prise en compte. Par conséquent, la forme abrégée n'est pas une expression appropriée.

Avec les définitions ci-dessus de D dans l'Equation (6) et de Δ en 4.1, l'Equation (5) peut être simplifiée en

$$A_3 = D - 20 \cdot \log_{10} \frac{U_3}{U_{\text{ref}}} - \Delta \quad (7)$$

6.2 Exigences

Les critères d'acceptation pour la non-linéarité des produits soumis aux essais doivent être donnés en faisant référence à un rapport de troisième harmonique minimal exigé A_3 dans la spécification applicable au composant.

Il convient que des critères d'acceptation de ce type soient établis par l'intermédiaire d'une valeur minimale fixe, généralement donnée en fonction de la résistance du spécimen.

Une sélectivité supérieure de tri de la non-linéarité peut être obtenue par l'utilisation d'une valeur minimale dynamique par rapport à la distribution statistique de non-linéarité à l'intérieur d'un lot analysé, en plus d'une valeur minimale fixe. Il convient qu'une telle exigence dynamique soit référencée par rapport à une valeur moyenne de lot et un multiple de son écart type, par exemple comme $\geq \bar{A}_3 - 3\sigma$.

7 Informations à fournir dans la spécification applicable au composant

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification applicable à un composant, les détails suivants doivent être donnés, dans la mesure où ils sont applicables:

	Paragraphes
a) la fréquence fondamentale	4.2
b) la condition environnementale pour cette mesure	5.1
c) la dissipation à fournir dans la tension fondamentale	5.3, Tableau 1
d) une limitation de la tension fondamentale, s'il y a lieu	5.3, Tableau 1
e) une limitation de la durée d'application de la tension fondamentale, s'il y a lieu	5.3

La spécification applicable au composant doit spécifier pour ses propres besoins:

	Paragraphe
f) critères d'acceptation pour le rapport de troisième harmonique A_3	6.2

Le Tableau 1 donne les valeurs pour l'impédance recommandée du circuit de mesure R_3 , pour le terme correctif correspondant Δ et pour la tension fondamentale U_1 des conditions de mesure recommandées pour un spécimen R_T dont la résistance est comprise entre 1 Ω et 22 M Ω .

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

R_3 Ω	R_T^a Ω	Δ^b dB	Dissipation assignée du spécimen P_r								
			$P_r \geq 0,25 \text{ W}$			$0,25 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
			U_1^c V	D^d dB	P mW	U_1^c V	D^d dB	P mW	U_1^c V	D^d dB	P mW
10	1,0	0,8	0,50	-6,0	250	0,32	-10,0	100	0,22	-13,0	50
	1,2	1,0	0,55	-5,2	250	0,35	-9,2	100	0,24	-12,2	50
	1,5	1,2	0,61	-4,3	250	0,39	-8,2	100	0,27	-11,2	50
	1,8	1,4	0,67	-3,5	250	0,42	-7,4	100	0,30	-10,5	50
	2,2	1,7	0,74	-2,6	250	0,47	-6,6	100	0,33	-9,6	50
	2,7	2,1	0,82	-1,7	250	0,52	-5,7	100	0,37	-8,7	50
	3,3	2,5	0,91	-0,8	250	0,57	-4,8	100	0,41	-7,8	50
	3,9	2,9	0,99	-0,1	250	0,62	-4,1	100	0,44	-7,1	50
	4,7	3,3	1,08	0,7	250	0,69	-3,3	100	0,48	-6,3	50
	5,6	3,9	1,18	1,5	250	0,75	-2,5	100	0,53	-5,5	50
	6,8	4,5	1,30	2,3	250	0,82	-1,7	100	0,58	-4,7	50
	8,2	5,2	1,43	3,1	250	0,91	-0,9	100	0,64	-3,9	50
	10	6,0	1,58	4,0	250	1,00	0,0	100	0,71	-3,0	50
	12	6,8	1,73	4,8	250	1,10	0,8	100	0,77	-2,2	50
	15	8,0	1,94	5,7	250	1,22	1,8	100	0,87	-1,2	50
	18	8,9	2,12	6,5	250	1,34	2,6	100	0,95	-0,5	50
	22	10,1	2,35	7,4	250	1,48	3,4	100	1,05	0,4	50
	27	11,4	2,60	8,3	250	1,64	4,3	100	1,16	1,3	50
100	33	2,5	2,87	9,2	250	1,82	5,2	100	1,28	2,2	50
	39	2,9	3,12	9,9	250	1,97	5,9	100	1,40	2,9	50
	47	3,3	3,43	10,7	250	2,17	6,7	100	1,53	3,7	50
	56	3,9	3,74	11,5	250	2,37	7,5	100	1,67	4,5	50
	68	4,5	4,12	12,3	250	2,61	8,3	100	1,84	5,3	50
	82	5,2	4,53	13,1	250	2,86	9,1	100	2,02	6,1	50
	100	6,0	5,00	14,0	250	3,16	10,0	100	2,24	7,0	50
	120	6,8	5,48	14,8	250	3,46	10,8	100	2,45	7,8	50
	150	8,0	6,12	15,7	250	3,87	11,8	100	2,74	8,8	50
	180	8,9	6,71	16,5	250	4,24	12,6	100	3,00	9,5	50
	220	10,1	7,42	17,4	250	4,69	13,4	100	3,32	10,4	50
	270	11,4	8,22	18,3	250	5,20	14,3	100	3,67	11,3	50
1 k	330	2,5	9,08	19,2	250	5,74	15,2	100	4,06	12,2	50
	390	2,9	9,87	19,9	250	6,24	15,9	100	4,42	12,9	50
	470	3,3	10,8	20,7	250	6,86	16,7	100	4,85	13,7	50
	560	3,9	11,8	21,5	250	7,48	17,5	100	5,29	14,5	50
	680	4,5	13,0	22,3	250	8,25	18,3	100	5,83	15,3	50
	820	5,2	14,3	23,1	250	9,06	19,1	100	6,40	16,1	50
	1,0 k	6,0	15,8	24,0	250	10,0	20,0	100	7,07	17,0	50
	1,2 k	6,8	17,3	24,8	250	11,0	20,8	100	7,75	17,8	50
	1,5 k	8,0	19,4	25,7	250	12,2	21,8	100	8,66	18,8	50
	1,8 k	8,9	21,2	26,5	250	13,4	22,6	100	9,49	19,5	50
	2,2 k	10,1	23,5	27,4	250	14,8	23,4	100	10,5	20,4	50
	2,7 k	11,4	26,0	28,3	250	16,4	24,3	100	11,6	21,3	50
10 k	3,3 k	2,5	28,7	29,2	250	18,2	25,2	100	12,8	22,2	50
	3,9 k	2,9	31,2	29,9	250	19,7	25,9	100	14,0	22,9	50
	4,7 k	3,3	34,3	30,7	250	21,7	26,7	100	15,3	23,7	50
	5,6 k	3,9	37,4	31,5	250	23,7	27,5	100	16,7	24,5	50
	6,8 k	4,5	41,2	32,3	250	26,1	28,3	100	18,4	25,3	50
	8,2 k	5,2	45,3	33,1	250	28,6	29,1	100	20,2	26,1	50

Tableau 1 (2 de 2)

R_3 Ω	R_T ^a Ω	Δ ^b dB	Dissipation assignée du spécimen P_r								
			$P_r \geq 0,25 \text{ W}$			$0,25 \text{ W} > P_r \geq 0,1 \text{ W}$			$0,1 \text{ W} > P_r$		
			U_1^c V	D^d dB	P mW	U_1^c V	D^d dB	P mW	U_1^c V	D^d dB	P mW
10 k	10 k	6,0	50,0	34,0	250	31,6	30,0	100	22,4	27,0	50
	12 k	6,8	54,8	34,8	250	34,6	30,8	100	24,5	27,8	50
	15 k	8,0	61,2	35,7	250	38,7	31,8	100	27,4	28,8	50
	18 k	8,9	67,1	36,5	250	42,4	32,6	100	30,0	29,5	50
	22 k	10,1	74,2	37,4	250	46,9	33,4	100	33,2	30,4	50
	27 k	11,4	82,2	38,3	250	52,0	34,3	100	36,7	31,3	50
100 k	33 k	2,5	90,8	39,2	250	57,4	35,2	100	40,6	32,2	50
	39 k	2,9	98,7	39,9	250	62,4	35,9	100	44,2	32,9	50
	47 k	3,3	108	40,7	250	68,6	36,7	100	48,5	33,7	50
	56 k	3,9	118	41,5	250	74,8	37,5	100	52,9	34,5	50
	68 k	4,5	130	42,3	250	82,5	38,3	100	58,3	35,3	50
	82 k	5,2	143	43,1	250	90,6	39,1	100	64,0	36,1	50
	100 k	6,0	158	44,0	250	100	40,0	100	70,7	37,0	50
	120 k	6,8	173	44,8	250	110	40,8	100	77,5	37,8	50
	150 k	8,0	194	45,7	250	122	41,8	100	86,6	38,8	50
	180 k	8,9	212	46,5	250	134	42,6	100	94,9	39,5	50
	220 k	10,1	235	47,4	250	148	43,4	100	105	40,4	50
	270 k	11,4	260	48,3	250	164	44,3	100	116	41,3	50
	330 k	12,7	287	49,2	250	182	45,2	100	128	42,2	50
	390 k	13,8	312	49,9	250	197	45,9	100	140	42,9	50
	470 k	15,1	343	50,7	250	217	46,7	100	153	43,7	50
	560 k	16,4	374	51,5	250	237	47,5	100	167	44,5	50
	680 k	17,8	412	52,3	250	261	48,3	100	184	45,3	50
	820 k	19,3	453	53,1	250	286	49,1	100	202	46,1	50
	1,0 M	20,8	500	54,0	250	316	50,0	100	224	47,0	50
	1,2 M	22,3	548	54,8	250	346	50,8	100	245	47,8	50
	1,5 M	24,1	612	55,7	250	387	51,8	100	274	48,8	50
	1,8 M	25,6	671	56,5	250	424	52,6	100	300	49,5	50
	2,2 M	27,2	742	57,4	250	469	53,4	100	332	50,4	50
	2,7 M	28,9	822	58,3	250	520	54,3	100	367	51,3	50
	3,3 M	30,6	908	59,2	250	574	55,2	100	406	52,2	50
	3,9 M	32,0	987	59,9	250	624	55,9	100	442	52,9	50
	4,7 M	33,6	1 084	60,7	250	686	56,7	100	485	53,7	50
	5,6 M	35,1	1 183	61,5	250	748	57,5	100	529	54,5	50
	6,8 M	36,8	1 304	62,3	250	825	58,3	100	583	55,3	50
	8,2 M	38,4	1 432	63,1	250	906	59,1	100	640	56,1	50
	10 M	40,1	1 581	64,0	250	1 000	60,0	100	707	57,0	50
	12 M	41,7	1 732	64,8	250	1 095	60,8	100	775	57,8	50
	15 M	43,6	1 936	65,7	250	1 225	61,8	100	866	58,8	50
	18 M	45,2	2 121	66,5	250	1 342	62,6	100	949	59,5	50
	22 M	46,9	2 345	67,4	250	1 483	63,4	100	1 049	60,4	50
^a Les paramètres pour d'autres valeurs de R_T que celles présentées ici doivent être calculés à l'aide de la résistance R_T, de la dissipation P et, s'il y a lieu, d'une limitation de la tension fondamentale U_1. ^b Les chiffres donnés pour le terme correctif Δ ne s'appliquent que si le circuit de mesure utilise les impédances de source R_3 présentées ici. ^c Une limitation peut s'appliquer à la tension à la fréquence fondamentale, limitant ainsi la valeur D et la dissipation réelle P. ^d Le rapport exprimé en décibels D de la tension fondamentale est fondé sur $U_{\text{ref}} = 1 \text{ V}$ pour le niveau de référence de 0 dB.											

Annexe A (informative)

Référence à la CEI/TR 60440

La rédaction de la présente norme a entraîné une nouvelle structure. Le tableau suivant indique les nouveaux numéros d'articles et de paragraphes par rapport au Rapport technique paru en 1973.

CEI/TR 60440 ^a Article/Paragraphe	CEI 60440:2011 1^{ère} édition Article/Paragraphe	Notes
1	1	Fusion du domaine d'application et de l'objet
2		
—	2	Nouvel article
—	3	Nouvel article
3	4.1	—
4.0		
4.1	4.2	—
4.2		
4.3	4.1	—
4.4		
4.5	4.3	Divisé en paragraphes
4.6	5.1	—
4.7	4.3.7	—
5	5	Divisé en paragraphes
—	6	Nouvel article
^a Voir Bibliographie.		

Bibliographie

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

CEI/TR 60440:1973, *Méthode de mesure de la non-linéarité des résistances*

CEI 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

ISO 80000-1, *Grandeurs et unités – Partie 1: Généralités*

Danbridge A/S, *“Reliability Testing of Nominally Linear Components by Measuring Third Harmonic Distortion”*, Application Note, 2002

Kühl, R.W. and Ewell, G.J., *“Third Harmonic Testing: Current Resistor Applications”*, Proceedings, 15th European Passive Components Symposium CARTS-EUROPE 2001, Copenhagen, Denmark, 2001, pp. 85 - 93.

Kuehl, R.W., *“Reliability of thin-film resistors: Impact of third harmonic screening”*, Microelectronics Reliability 42 (2002), pp. 807

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