

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

60440

Première édition
First edition
1973-01

**Méthode de mesure de la non-linéarité
des résistances**

**Method of measurement of non-linearity
in resistors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60440: 1973

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

60440

Première édition
First edition
1973-01

**Méthode de mesure de la non-linéarité
des résistances**

**Method of measurement of non-linearity
in resistors**

© IEC 1973 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

H

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

CORRIGENDUM 1

Page 64.1 *Gamme des valeurs de résistance*

Remplacer le texte existant par le texte suivant :

4.1 *Gamme des valeurs de résistance*

Le circuit est prévu pour des mesures sur des résistances dont la valeur est comprise entre 1 Ω et 10 M Ω . Il peut être utilisé pour des mesures sur des résistances dont les valeurs sont hors de ces limites, mais limitées par l'influence prépondérante du terme de correction Δ aux hautes valeurs.

Page 74.1 *Range of resistance values*

Replace the existing text by the following :

4.1 *Range of resistance values*

The measuring circuit is suitable for measurements on resistors with resistance values between 1 Ω and 10 M Ω . It may be used for measurements on resistors with values outside these limits, but limited by the overriding influence of the correcting term Δ at high values.

Septembre 1974

September 1974

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 60440:1973

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Principe de mesure	6
4. Système de mesure de la non-linéarité	6
4.1 Gamme des valeurs de résistance	6
4.2 Circuit de mesure	6
4.3 Circuits équivalents	8
4.4 Atténuation à la fréquence du troisième harmonique	10
4.5 Exigences concernant le système de mesure	10
4.6 Conditions ambiantes de mesure	10
4.7 Précautions spéciales	10
5. Exécution de la mesure	12

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Measuring principle	7
4. Non-linearity measurement system	7
4.1 Range of resistance values	7
4.2 Measuring circuit	7
4.3 Equivalent circuits	9
4.4 Attenuation at the third harmonic frequency	11
4.5 Requirements concerning the measuring system	11
4.6 Ambient conditions for testing	11
4.7 Special precautions	11
5. Measurement procedure	13

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODE DE MESURE DE LA NON-LINÉARITÉ DES RÉSISTANCES

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes N° 40 de la CEI: Condensateurs et résistances pour équipements électroniques.

Un projet, établi par le Comité national suédois, fut discuté lors de la réunion tenue à Prague en 1967, où il fut décidé de soumettre un projet révisé.

Ce projet révisé fut discuté lors de la réunion tenue à Paris en 1969.

A la suite de cette dernière réunion, un projet final, document 40(Bureau Central)237, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux selon la Règle des Six Mois en septembre 1969.

Des modifications, document 40(Bureau Central)271, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en juillet 1971.

Les pays suivants ont voté explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Pays-Bas
Australie	Roumanie
Autriche	Royaume-Uni
Belgique	Suède
Canada	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Iran	Yougoslavie
Israël	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHOD OF MEASUREMENT OF NON-LINEARITY IN RESISTORS

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This report was prepared by IEC Technical Committee No. 40, Capacitors and Resistors for Electronic Equipment.

A draft, prepared by the Swedish National Committee, was discussed at the meeting held in Prague in 1967, where it was decided to circulate a revised draft.

This revised draft was discussed at the meeting held in Paris in 1969.

As a result of the latter meeting, a final draft, document 40(Central Office)237, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1969.

Amendments, document 40(Central Office)271, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in July 1971.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Austria	Netherlands
Belgium	Romania
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist
Hungary	Republics
Iran	United Kingdom
Israel	Yugoslavia

MÉTHODE DE MESURE DE LA NON-LINÉARITÉ DES RÉSISTANCES

1. Domaine d'application

La méthode de mesure de la non-linéarité décrite dans ce rapport est applicable aux résistances. Cette méthode n'est destinée à être appliquée qu'après entente entre le fabricant et le client.

2. Objet

L'objet de ce rapport est de normaliser une méthode de mesure et les conditions d'essai associées pour déterminer l'amplitude de la distorsion non linéaire engendrée dans une résistance.

Les valeurs limites de l'amplitude de la distorsion non linéaire pour un fonctionnement acceptable ne sont pas spécifiées dans ce rapport mais devraient faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client.

3. Principe de mesure

Un courant rigoureusement sinusoïdal traverse le composant à étudier. 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. La mesure de la non-linéarité du composant consiste à mesurer l'amplitude de ces harmoniques.

Il est recommandé de mesurer le troisième harmonique. Le composant peut être représenté par une impédance linéaire mise en série avec un générateur d'harmoniques, d'impédance interne nulle.

4. Système de mesure de la non-linéarité

Pour mesurer la tension à la fréquence de troisième harmonique apparaissant aux bornes du composant, il faut éliminer la tension à la fréquence fondamentale ainsi que les tensions engendrées à toutes les fréquences des autres harmoniques. Ceci peut être obtenu de différentes façons.

Une méthode consiste à utiliser un pont équilibré à la fréquence fondamentale; les harmoniques apparaissent dans la diagonale du pont. Malheureusement, l'équilibrage pour chaque spécimen nécessite un temps assez long.

La méthode du circuit-filtre passe-bande choisie ici convient mieux à l'usage, bien qu'elle exige, pour constituer le circuit, des composants possédant des caractéristiques plus rigoureuses.

4.1 Gamme des valeurs de résistance

Le circuit est prévu pour des mesures sur des résistances dont la valeur est comprise entre $1\ \Omega$ et $10\ M\Omega$. Il peut être utilisé pour des mesures sur des résistances dont les valeurs sont hors de ces limites, mais limitées par l'influence prépondérante du terme de correction D aux hautes valeurs.

4.2 Circuit de mesure

La fréquence fondamentale souhaitable pour les mesures sur des résistances est comprise entre $10\ kHz$ et $40\ kHz$. Cette bande de fréquences permet de réaliser le circuit d'essai sans trop de difficultés. La figure 1 montre le schéma de principe du dispositif d'essai.

METHOD OF MEASUREMENT OF NON-LINEARITY IN RESISTORS

1. Scope

The method of measurement of non-linearity described in this report is applicable to resistors. This method is only intended to be used when agreed upon between manufacturer and customer.

2. Object

The object of this report is to standardize a method of measurement and associated test conditions for determining the magnitude of non-linear distortion generated in a resistor.

Limiting values of the magnitude of non-linear distortion for acceptable performance are not specified in this report but should be agreed upon between manufacturer and customer.

3. Measuring principle

A pure sinusoidal current is passed through the component under study. 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 harmonics is a measure of the non-linearity in the component.

It is recommended to measure the third harmonic. The component may be represented by a linear impedance having a zero-impedance harmonic generator in series.

4. Non-linearity measurement system

When measuring the third harmonic voltage appearing across a component, it must be separated from the fundamental voltage and from all other harmonics. This can be done in different ways.

One method is to use a bridge which is balanced at the fundamental frequency, and the harmonics appear across the bridge diagonal. This method is unfortunately rather time-consuming as the bridge has to be balanced for each test specimen.

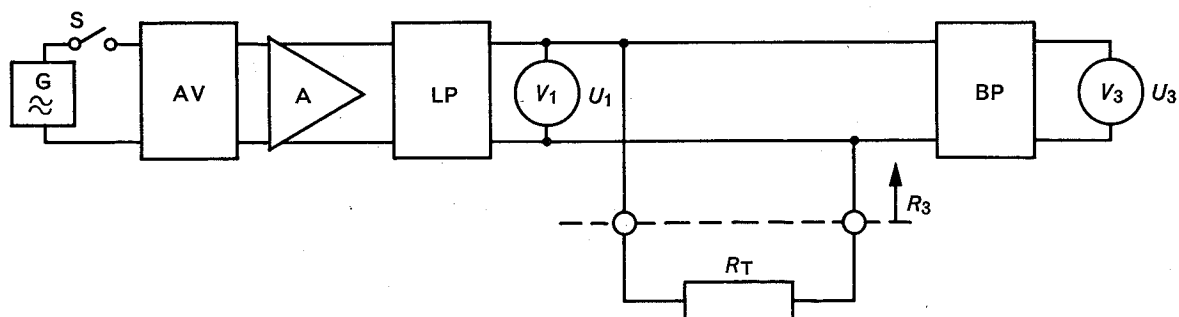
The test method chosen here is a filter circuit which is more convenient to use though it puts more stringent requirements on the components making up the circuit.

4.1 Range of resistance values

The measuring circuit is suitable for measurements on resistors with resistance values between $1\ \Omega$ and $10\ M\Omega$. It may be used for measurements on resistors with values outside these limits, but limited by the overriding influence of the correcting term D at high values.

4.2 Measuring circuit

A suitable fundamental frequency range 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. Figure 1 shows a block schematic of the test arrangement.



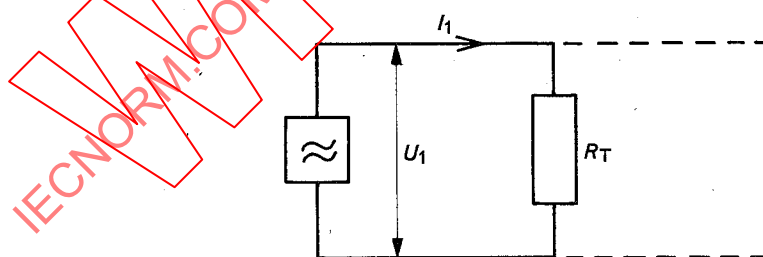
0139/73

FIG. 1. — Schéma de principe du dispositif d'essai.

- G Oscillateur, fréquence fondamentale
- S Interrupteur appliquant la tension au spécimen en essai
- AV Atténuateur variable
- A Amplificateur de puissance (donnant très peu de distorsion)
- LP Filtre passe-bas dont la coupure intervient immédiatement au-dessus de la fréquence fondamentale
- V_1 Voltmètre pour mesurer la tension U_1 à la fréquence fondamentale
- BP Filtre passe-bande, réglé sur le troisième harmonique, ayant une très forte atténuation à la fréquence fondamentale
- V_3 Voltmètre pour mesurer la tension U_3 à la fréquence du troisième harmonique
- R_T Résistance en essai
- R_3 Impédance (résistive pure) de l'appareil vue des bornes d'essai à la fréquence du troisième harmonique.

Note. — 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 (voir tableau I, page 15). 10 Ω , 100 Ω , 1000 Ω , 10 000 Ω , et 100 000 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 I.

4.3 Circuits équivalents

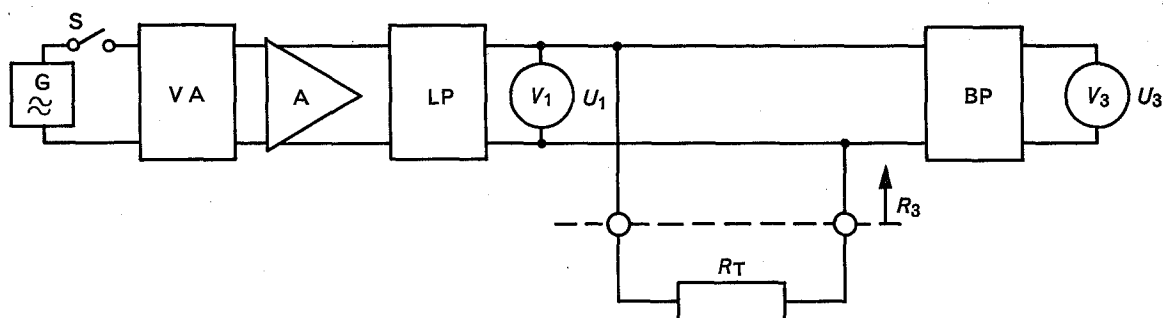


0140/73

FIG. 2. — Circuit équivalent à la fréquence fondamentale.

- R_T Impédance de la résistance en essai à la fréquence fondamentale
- U_1 Tension (à la fréquence fondamentale) appliquée à la résistance en essai

Le courant I_1 est sinusoïdal.



0139/73

FIG. 1. — Block schematic of test arrangement.

G Oscillator, fundamental frequency

S Switch for applying the test signal to the test specimen

VA Variable attenuator

A Power amplifier with low distortion

LP Low-pass filter with cut-off immediately above the fundamental frequency

V_1 Voltmeter to measure the fundamental voltage U_1

BP Band-pass filter for the third harmonic, with very high attenuation at the fundamental frequency

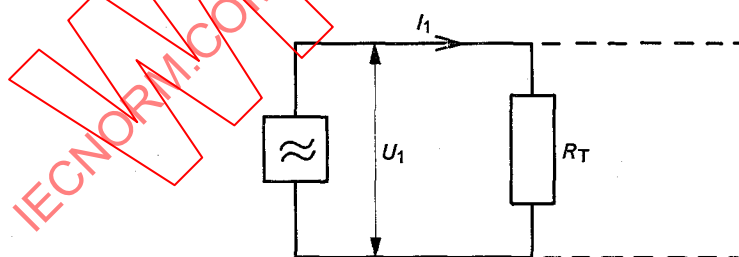
V_3 Voltmeter to measure voltage U_3 at the third harmonic frequency

R_T Resistor under test

R_3 Impedance (resistive) seen from the test terminals at the third harmonic frequency.

Note. — A distortion-free impedance matching device can be used to switch R_3 to get good matching to the test specimen R_T (see Table I, page 15). Examples of suitable values of R_3 are 10 Ω , 100 Ω , 1000 Ω , 10 000 Ω and 100 000 Ω , which values are used for specifying the test conditions in Table I.

4.3 Equivalent circuits



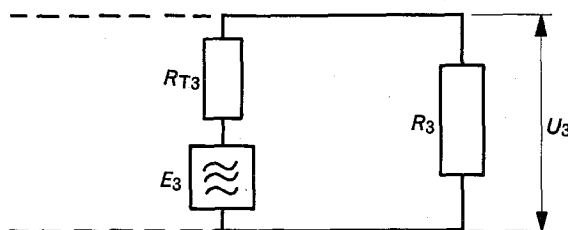
0140/73

FIG. 2. — Equivalent circuit at the fundamental frequency.

R_T Impedance of the resistor under test at the fundamental frequency

U_1 Fundamental voltage across the resistor under test

The current I_1 is sinusoidal.



0141/73

FIG. 3. — Circuit équivalent à la fréquence du troisième harmonique.

R_{T3} Impédance de la résistance en essai à la fréquence du troisième harmonique

R_3 Impédance (résistive pure) à la fréquence du troisième harmonique vue des bornes d'essai (voir tableau I)

4.4 Atténuation à la fréquence du troisième harmonique

La f.é.m. à la fréquence du troisième harmonique produite par le composant est:

$$E_3 = \left| 1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right| U_3 \quad (4.1)$$

L'atténuation en décibels à la fréquence du troisième harmonique sera:

$$A_3 = 20 \log_{10} \frac{U_1}{E_3} = 20 \log_{10} \frac{U_1}{U_3} - 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right| \quad (4.2)$$

Le terme correctif A en décibels

$$A = 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right| \quad (4.3)$$

peut être tiré du diagramme de la figure 4, page 14.

4.5 Exigences concernant le système de mesure

Certaines précautions doivent être prises pour éviter des distorsions non linéaires émanant des éléments du filtre passe-bas et du filtre passe-bande, placés à proximité de la pièce en essai. Par exemple, les inductances des filtres ne doivent pas comporter de noyaux magnétiques.

Le niveau de bruit ramené aux bornes d'essai doit être inférieur ou égal à $0,2 \mu V$ pour $R_3 = 1\,000 \Omega$.

L'amplificateur doit pouvoir délivrer une puissance de 1 W à la résistance en essai.

Avec 0,25 VA dans un composant quasiment linéaire, l'atténuation $20 \log_{10} \frac{U_1}{U_3}$ doit être supérieure à 140 dB pour la plus grande partie de la gamme d'impédances.

L'imprécision du voltmètre mesurant la tension de la fréquence fondamentale doit être inférieure à 5% et celle du voltmètre mesurant la tension du troisième harmonique doit être inférieure à 10% au point correspondant au maximum de l'échelle.

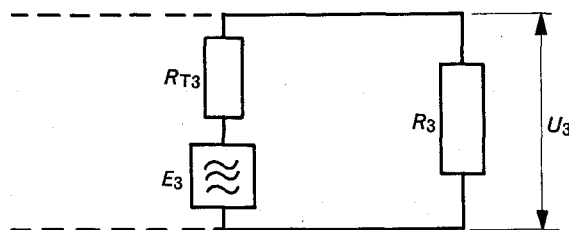
Pour vérifier le système de mesure, on branchera sur l'appareil un étalon dont la non-linéarité sera connue.

4.6 Conditions ambiantes de mesure

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être effectués dans les conditions atmosphériques normales énoncées dans la Publication 68 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique.

4.7 Précautions spéciales

Les matériaux ferromagnétiques causent des distorsions harmoniques; des précautions doivent être prises pour éviter leur influence. Exemple: métaux ferreux placés à proximité immédiate du composant — ce qui peut masquer la non-linéarité du composant, spécialement aux forts courants.



0141/73

FIG. 3. — Equivalent circuit at the third harmonic frequency.

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

R_3 Impedance (resistive) at the third harmonic frequency, seen from the test terminals (see Table I).

4.4 Attenuation at the third harmonic frequency

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

$$E_3 = \left| 1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right| U_3 \quad (4.1)$$

The third harmonic attenuation in decibels will be

$$A_3 = 20 \log_{10} \frac{U_1}{E_3} = 20 \log_{10} \frac{U_1}{U_3} - 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right| \quad (4.2)$$

The correction term A in decibels

$$A = 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{R_{T3}}{R_3} \right| \quad (4.3)$$

may be taken from the diagram in Figure 4, page 14.

4.5 Requirements concerning the measuring system

Precautions must 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 must not contain cores of magnetic material.

The noise level referred to the test terminals shall not be higher than $0.2 \mu\text{V}$ at $R_3 = 1000 \Omega$.

The power amplifier shall be capable of delivering 1 W into a resistive component under test.

With 0.25 VA in a virtually linear component, the attenuation $20 \log_{10} \frac{U_1}{U_3}$ shall be higher than 140 dB for most of the impedance range.

The inaccuracy of the fundamental frequency voltmeter shall be less than 5% and that of the third harmonic frequency voltmeter less than 10% at full scale deflection.

For checking the measuring system, the instrument shall be equipped with a standard with known non-linearity.

4.6 Ambient conditions for testing

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under standard atmospheric conditions for testing as specified in IEC Publication 68, Basic Environmental Testing Procedures.

4.7 Special precautions

Ferromagnetic materials give rise to harmonic distortion and care must 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.

5. Exécution de la mesure

- a) La résistance à essayer est insérée et l'interrupteur S (voir figure 1, page 8) fermé.
- b) La tension d'essai à la fréquence fondamentale U_1 doit être réglée à la valeur choisie dans le tableau I ou à une autre tension plus basse si cela est nécessité par les limitations dues aux caractéristiques nominales de la résistance ou à l'équipement d'essai (voir note 1).
- c) La tension U_3 du troisième harmonique doit alors être lue sur le voltmètre V_3 .

La force électromotrice E_3 du troisième harmonique dans la résistance peut être calculée à partir de la relation (4.1) ou bien le terme correctif logarithmique Δ (4.3) peut être relevé sur la figure 4 ou dans le tableau I. En appliquant l'équation (4.2), l'atténuation à la fréquence du troisième harmonique en décibels sera:

$$A_3 = 20 \log_{10} \frac{U_1}{E_3} = D - 20 \log_{10} U_3 - \Delta \quad (5.1)$$

dans laquelle $D = 20 \log_{10} U_1$ et le terme correctif Δ est fourni par le tableau I.

Notes 1. — Il est possible d'estimer la valeur de la tension du troisième harmonique correspondant à une tension plus élevée en appliquant l'équation suivante:

$$E_3 = E'_3 \times \left(\frac{U_1}{U'_1} \right)^n \quad (5.2)$$

dans laquelle:

E'_3 est la force électromotrice du troisième harmonique correspondant à la tension réelle U'_1 de la fréquence fondamentale

E_3 est la force électromotrice du troisième harmonique correspondant à la tension U_1 de la fréquence fondamentale

n a une valeur comprise entre 1,5 et 3,5 suivant le type de résistance.

2. — Pour caractériser la non-linéarité dans les résistances, il est également possible d'utiliser un « niveau du troisième harmonique », exprimé en décibels et défini par la relation suivante:

$$20 \log_{10} \frac{E_3}{U_1^2} \quad (5.3)$$

dans laquelle E_3 est exprimé en μV et U_1 en V.

5. Measurement procedure

- a) The resistor to be tested is inserted and the switch S (see Figure 1, page 9) closed.
- b) The fundamental test voltage U_1 shall be adjusted to a value chosen from Table I, or some other lower voltage where this is necessary because of limitations of the resistor ratings or of the test equipment (see Note 1).
- c) The third harmonic voltage U_3 shall then be read on the voltmeter V_3 .

The e.m.f. E_3 of the third harmonic in the resistor can be calculated from the expression (4.1) or the logarithmic correction term A (4.3) can be found from Figure 4 or Table I. According to equation (4.2), the third harmonic attenuation in decibels will be:

$$A_3 = 20 \log_{10} \frac{U_1}{E_3} = D - 20 \log_{10} U_3 - A \quad (5.1)$$

where $D = 20 \log_{10} U_1$ and the correction term A can be taken from Table I.

Notes 1. — It is possible to estimate the third harmonic voltage corresponding to a higher voltage using the following equation:

$$E_3 = E'_3 \times \left(\frac{U_1}{U'_1} \right)^n \quad (5.2)$$

in which:

E'_3 is the third harmonic e.m.f. corresponding to the actual fundamental test voltage U'_1

E_3 is the third harmonic e.m.f. corresponding to the fundamental test voltage U_1

n has a value between 1.5 and 3.5 depending on the type of resistor.

2. — For characterizing the non-linearity in resistors, it is also possible to use a "Third Harmonic Index", expressed in decibels, defined as:

$$20 \log_{10} \frac{E_3}{U_1^n} \quad (5.3)$$

where E_3 is expressed in μV and U_1 in V.