

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
195**

Première édition
First edition
1965

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

**Method of measurement of current noise
generated in fixed resistors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 195: 1965

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
195

Première édition
First edition
1965

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

Method of measurement of current noise
generated in fixed resistors

© CEI 1965 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 pro-
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Objet	6
2. Domaine d'application	6
3. Terminologie	6
3.1 Tension de bruit	6
3.2 Tension de bruit thermique.	6
3.3 Tension de bruit en charge	8
3.4 Indice de bruit en charge.	8
4. Appareillage de mesure du bruit en charge	8
4.1 Circuit d'entrée	8
4.2 Dispositif en courant continu	10
4.3 Dispositif en courant alternatif	12
4.4 Interrupteur fonctionnel	14
5. Détermination de la tension d'étalonnage	16
6. Méthode de mesure	16
6.1 Etalonnage	16
6.2 Mesure du bruit propre de l'appareillage	16
6.3 Mesure du bruit total	18
6.4 Calcul de l'indice de bruit en charge.	18
7. Précision.	18
8. Notes et précautions	18
8.1 Précautions dans la construction de l'appareil.	18
8.2 Précautions dans l'utilisation de l'appareil	20
8.3 Vérification des performances.	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Object	7
2. Scope	7
3. Terminology	7
3.1 Noise voltage	7
3.2 Thermal noise voltage	7
3.3 Current-noise voltage	9
3.4 Current-noise index	9
4. Current-noise measurement system	9
4.1 Input circuit	9
4.2 D.C. system	11
4.3 A.C. measuring system	13
4.4 Function switch	15
5. Determination of calibration voltage	17
6. Measurement procedures	17
6.1 Calibration	17
6.2 Measurement of system noise	17
6.3 Measurement of total noise	19
6.4 Computation of the current-noise index	19
7. Accuracy	19
8. Notes and precautions	19
8.1 Precautions in the construction of equipment	19
8.2 Precautions in the use of equipment	21
8.3 Performance checks	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 40 de la C E I: Condensateurs et résistances pour équipements électroniques.

Le Sous-Comité 40-1: Condensateurs et résistances, réuni à Stockholm en 1958 examina un rapport du «National Bureau of Standards» des Etats-Unis sur le bruit dans les résistances fixes et sa méthode de mesure. Des projets furent discutés au cours des réunions tenues à Ulm en 1959, à Washington en 1960 et à Interlaken en 1961.

A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux selon la Règle des Six Mois en juin 1962. Lors de la réunion tenue à Nice en octobre 1962, les deux seuls commentaires reçus furent examinés et il fut décidé de préparer un nouveau projet qui fut soumis à l'approbation des Comités nationaux selon la Règle des Six Mois en septembre 1963.

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

Afrique du Sud	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Corée, République de	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Inde	Union des Républiques Socialistes
Israël	Soviétiques
Italie	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHOD OF MEASUREMENT OF CURRENT NOISE GENERATED
IN FIXED RESISTORS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation was prepared by I E C Technical Committee No. 40, Capacitors and Resistors for Electronic Equipment.

At a meeting of Sub-Committee 40-1, Capacitors and Resistors, held in Stockholm in 1958, a report of the United States National Bureau of Standards on noise in fixed resistors was examined. Drafts were discussed in meetings held in Ulm in 1959, Washington in 1960 and Interlaken in 1961.

As a result to this latter meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1962. During the meeting held in Nice in October 1962, the only two comments received were considered and it was decided to prepare a new draft which was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1963.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Austria	Norway
Belgium	Romania
Canada	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
India	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia
Korea, Republic of	

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

1. Objet

La présente recommandation a pour objet de normaliser une méthode de mesure et les conditions d'essai associées pour déterminer l'amplitude du bruit produit en charge dans les résistances fixes, de façon que les résultats des mesures puissent être comparables entre eux. Les valeurs limites de l'amplitude du bruit en charge correspondant à des performances acceptables ne sont pas spécifiées.

Cette recommandation comprend une description de l'appareillage de mesure et des méthodes recommandées pour établir «l'absence de bruit» ou pour déterminer l'amplitude du bruit en charge des résistances fixes d'un type quelconque.

2. Domaine d'application

La méthode de mesure décrite dans cette recommandation s'applique à tous les types de résistances fixes utilisées dans des circuits où le bruit en charge est critique, par exemple dans certains circuits travaillant à faible niveau dans la gamme des basses fréquences, acoustiques ou autres. Elle n'est pas prévue comme étant une spécification générale à requérir.

3. Terminologie

3.1 Tension de bruit

La tension de bruit est une tension fluctuante spontanée dont l'amplitude instantanée, variant d'une façon aléatoire, ne peut être chiffrée que sous forme de valeurs basées sur le calcul des probabilités. Habituellement, l'amplitude qui présente le principal intérêt n'est pas l'amplitude instantanée mais sa valeur moyenne dans le temps. L'amplitude utilisée et adoptée pour les mesures dans cette recommandation est la valeur efficace de la tension transmise dans une bande de fréquence déterminée.

3.2 Tension de bruit thermique

La tension de bruit thermique d'une résistance est la tension fluctuante produite par le mouvement aléatoire des charges dû à leur agitation thermique. Elle se rencontre dans toutes les résistances. Il n'est pas nécessaire de mesurer effectivement son amplitude car la valeur efficace de la tension fluctuante apparaissant en circuit ouvert aux bornes d'une résistance, qui serait indiquée par l'appareillage de mesure, peut être calculée par la formule de Nyquist:

$$\overline{V_n^2} = 4 k T R \Delta f$$

dans laquelle:

k est la constante de Boltzmann: $1,38 \times 10^{-23}$ watt secondes par degré Kelvin

T est la température en degrés Kelvin

R est la valeur de la résistance en ohms

Δf est la bande passante effective de l'appareillage de mesure en hertz.

METHOD OF MEASUREMENT OF CURRENT NOISE GENERATED IN FIXED RESISTORS

1. Object

The object of this Recommendation is to standardize a method of measurement and associated test conditions for use in the determination of the magnitude of current noise generated in fixed resistors, so as to make possible the comparison of the results of measurements. Limiting values of the magnitude of current noise for acceptable performance are not specified.

It constitutes a description of the measurement system and procedures recommended for use in assessing the “noisiness”, or magnitude of current noise, generated in fixed resistors of any given type.

2. Scope

The method of measurement described in this Recommendation applies to all classes of fixed resistors used in circuits where current noise is critical, e.g. in some low-signal-level audio and other low-frequency circuits. It is not intended as a general specification requirement.

3. Terminology

3.1 Noise voltage

Noise voltage is a spontaneous fluctuating voltage having instantaneous amplitude values which, because they are distributed in a random manner, cannot be predicted except in terms of probability statements. Usually the amplitude characteristic of principal interest is not the instantaneous value but the “time-averaged” value. The measurement of amplitude commonly used and adopted for this Recommendation is the root of the mean-square value of voltage (r.m.s.) transmitted in a particular frequency pass band.

3.2 Thermal noise voltage

The thermal noise voltage of a resistor is a fluctuating voltage caused by the random motion of thermally agitated charges. It is present in all resistors. It is not necessary to determine the magnitude of thermal noise by actual measurement since the mean-square value of the fluctuating voltage appearing at the open-circuit terminals of a resistor, which would be indicated by the measuring system, may be calculated using Nyquist’s equation:

$$\overline{V_n^2} = 4 k T R \Delta f$$

where:

k is Boltzmann’s constant: 1.38×10^{-23} watt seconds per degree Kelvin

T is the absolute temperature in degrees Kelvin

R is the resistance value in ohms

Δf is the effective pass band of the measuring system in hertz (cycles/second).

Une résistance peut être représentée par une source de bruit thermique constituée par un générateur de bruit d'impédance interne nulle en série avec une résistance sans bruit.

Bien que cette recommandation ne traite que de la mesure du bruit en charge, la présence du bruit thermique ne peut être ignorée puisque la présence du bruit thermique de la résistance en essai crée une source importante de parasites pour la mesure.

3.3 Tension de bruit en charge

Le bruit en charge produit par le passage d'un courant continu dans une résistance se manifeste par un *accroissement* de la tension de bruit. La tension de bruit en charge est la différence entre la valeur efficace de la tension de bruit totale et celle de la tension de bruit thermique.

Une résistance ayant du bruit en charge peut être représentée par une source de bruit constituée par un générateur de bruit en charge d'impédance interne nulle en série avec un générateur de bruit thermique indépendant (c'est-à-dire dont la f.e.m. n'est pas liée au courant continu) et une résistance sans bruit.

La valeur efficace de la tension de bruit en charge par unité de bande passante varie effectivement en raison inverse de la fréquence. Il en résulte que des bandes passantes idéales rectangulaires dont les fréquences frontières supérieure et inférieure sont dans un rapport constant transmettent des tensions de bruit d'amplitudes égales pour une source de bruit déterminée.

3.4 Indice de bruit en charge

L'indice de bruit en charge, «microvolts par volt dans une décade» exprimé en dB est la grandeur utilisée pour chiffrer la «caractéristique de bruit» de résistances individuelles.

La bande passante rectangulaire idéale associée à l'indice de bruit en charge est une décade centrée géométriquement sur la fréquence de 1 000 Hz.

L'indice de bruit en charge se définit comme suit :

$$\text{Indice de bruit en charge} = 20 \log_{10} \frac{v_{\text{eff}}}{V_T} \text{ dB (dans une décade de fréquences).}$$

Où v_{eff} est la valeur efficace, exprimée en microvolts, de la tension de bruit en charge dans une décade de fréquences et V_T est la valeur, exprimée en volts, de la tension continue appliquée à la résistance en essai.

Puisque le spectre de la puissance de bruit en charge correspond approximativement à une caractéristique en $1/f$, l'indice donne une estimation du bruit en charge quelle que soit la décade de fréquence.

4. Appareillage de mesure du bruit en charge

L'appareillage de mesure recommandé doit être conforme au schéma de la figure 1. On peut considérer cet appareillage de mesure comme comportant trois parties: le dispositif en courant continu, le circuit d'entrée et le dispositif en courant alternatif.

4.1 Circuit d'entrée

Le circuit d'entrée comprend la résistance d'isolation (R_m) la résistance en essai (R_T) et la résistance d'étalonnage (voir figure 1, page 10).

La résistance d'isolation a pour but de réduire l'effet de dérivation du bruit de la résistance en essai dans la source d'alimentation.

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

Although this Recommendation is concerned with the measurement of current noise in resistors, the presence of thermal noise cannot be ignored because the thermal noise of the resistor under test is frequently a major source of interference in the measurement.

3.3 Current-noise voltage

The current noise resulting from the presence of direct current in a fixed resistor causes an *increase* in mean-square voltage over that due to thermal noise. The current-voltage noise is the difference between the r.m.s. value of the total noise voltage and that of the thermal noise voltage.

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

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

3.4 Current-noise index

The current-noise index “microvolts per volt in a decade” expressed in dB is the term used to express the “noisiness” of individual resistors.

The ideal rectangular pass band associated with the current-noise index is one frequency decade, geometrically centered at 1 000 Hz (c/s).

The index is defined as follows:

$$\text{Current-noise index} = 20 \log_{10} \frac{V_{\text{r.m.s.}}}{V_T} \text{ dB (in a frequency decade).}$$

Where $V_{\text{r.m.s.}}$ is the *number* of microvolts of open circuit r.m.s. current-noise voltage in a frequency decade and V_T is the *number* of d.c. volts applied to the resistor under test.

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

4. Current-noise measurement system

The recommended equipment shall conform to the block diagram, Figure 1. The noise measuring system may be considered as consisting of three sections: the d.c. system, the input circuit, and the a.c. system.

4.1 Input circuit

The input circuit consists of the isolation resistor (R_m), the resistor under test (R_T), and the calibration resistor, as shown in Figure 1 (page 11).

The isolation resistor is required to reduce the shunting effect of the d.c. supply system on the noise in the resistor under test.

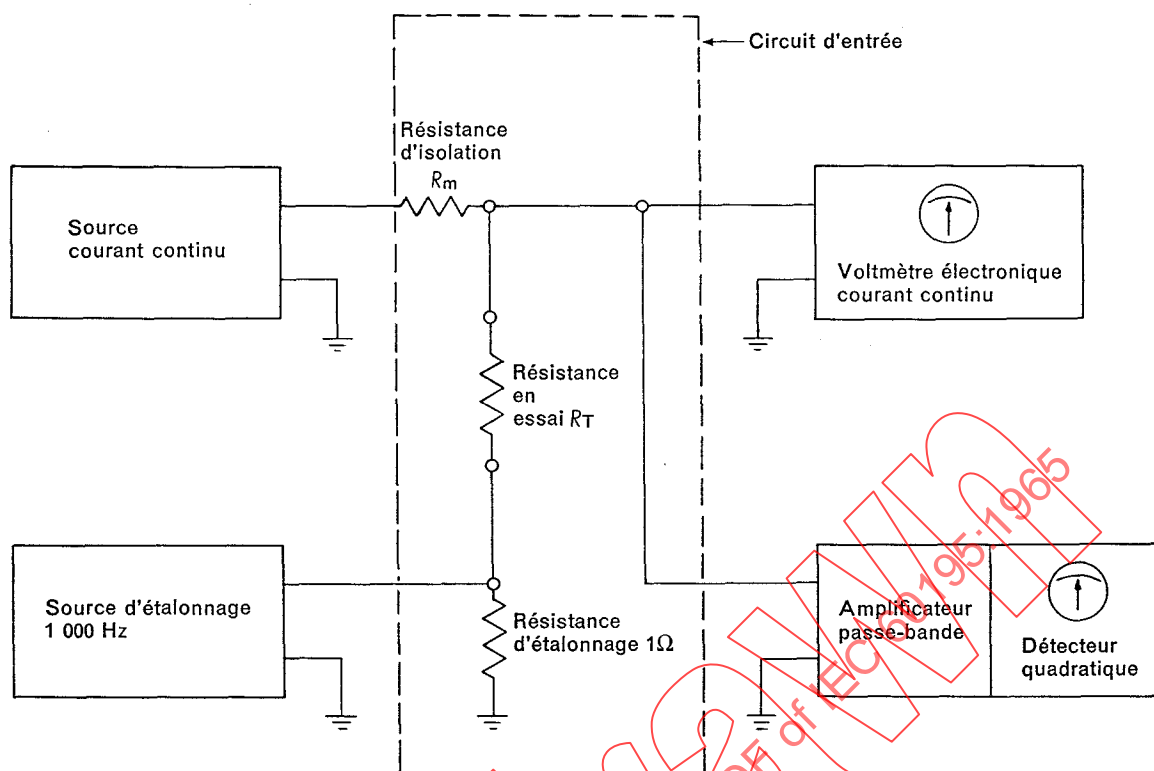


FIG. 1. — Schéma de l'appareillage.

Plusieurs résistances d'isolation sont nécessaires pour couvrir la gamme possible des valeurs de la résistance en essai et doivent pouvoir être commutées selon les besoins dans le circuit. Pour satisfaire les conditions de mesures requises au tableau I, un minimum de quatre résistances d'isolation est nécessaire. Ces résistances ne doivent pas avoir de bruit en charge.

La résistance en essai doit être montée sur un support convenable et isolé par blindage des champs extérieurs.

La résistance d'étalonnage ne doit pas avoir de bruit en charge et elle doit avoir une valeur de 1 ohm et une dissipation nominale d'au moins 0,5 W.

4.2 Dispositif en courant continu

Le dispositif en courant continu comprend l'alimentation en courant continu et le voltmètre électronique pour courant continu.

4.2.1 Alimentation en courant continu

L'alimentation en courant continu doit être stable et fournir la gamme des tensions désirées. La tension réelle requise dépend de la valeur de la résistance en essai (R_T), de la tension d'essai requise (V_T) et de la valeur de la résistance d'isolation (R_m) comme indiqué au tableau I. Pour vérifier si la source d'alimentation convient, on fait passer un courant continu dans une résistance sans bruit, une résistance bobinée notamment, et on mesure l'accroissement de la déviation de l'appareil de mesure de sortie dû au ronflement et au bruit parasite produits par la source de courant continu. Cet accroissement ne doit pas être supérieur à 0,5 dB.

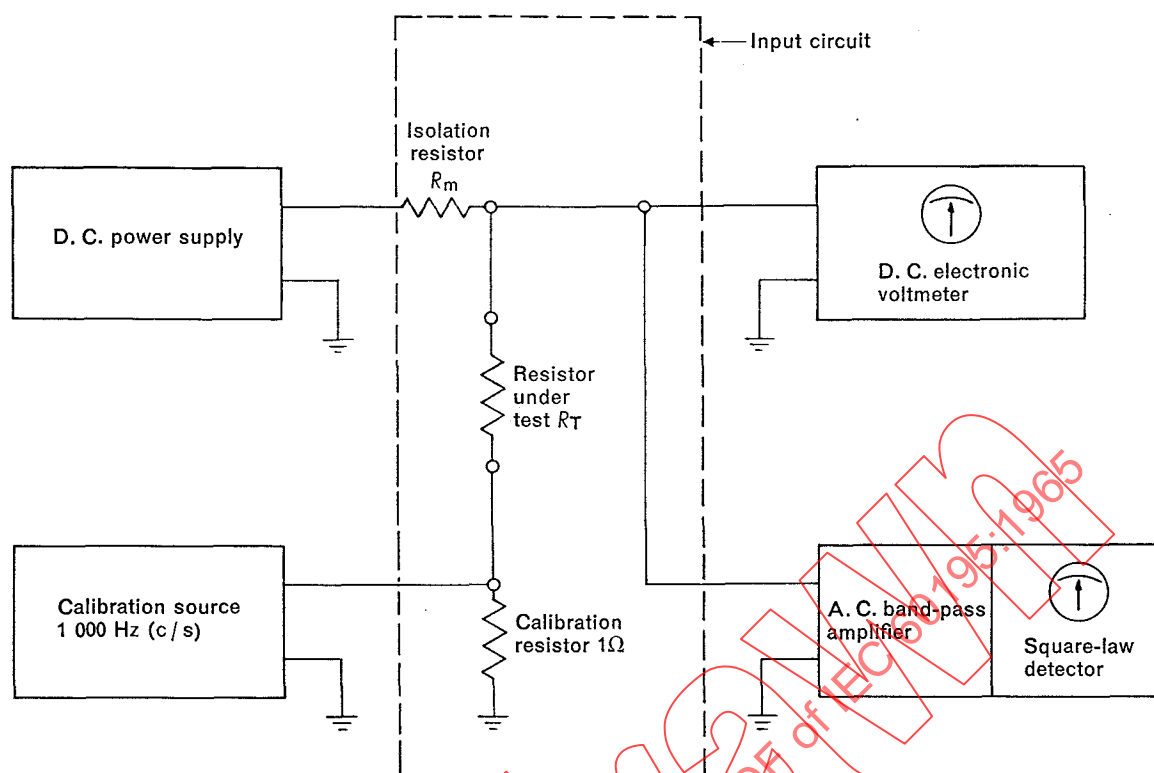


FIG. 1. — Block diagram of system.

A number of isolation resistors will be needed to cover the range of resistance values of the resistors under test and these can be switched into the circuit as required. A minimum of four isolation resistors is required for meeting the measurement conditions specified in Table I. These resistors shall be current noise free.

The resistor under test shall be mounted in a suitable test jig shielded from external fields.

The calibration resistor shall be current noise free and shall have a resistance of 1 ohm and power rating of at least 0.5 W.

4.2 D.C. system

The d.c. system consists of the d.c. supply and the d.c. electronic voltmeter (d.c. V.T.V.M.).

4.2.1 D.C. supply

The d.c. supply shall be stable and capable of supplying a suitable range of voltages. The actual supply voltage required is dependent on the value of the resistor under test (R_T), on the required test voltage (V_T), and on the value of the isolation resistor (R_m) as set out in Table I. As a measure of the suitability of the power supply, the hum and noise interference introduced by the d.c. supply shall be less than 0.5 dB as indicated by the increase in the noise meter deflection when d.c. current is passed through a current noise-free test resistor such as a wirewound resistor.

4.2.2 Voltmètre électrique pour courant continu

Le voltmètre doit avoir une impédance d'entrée constante au moins égale à 4 mégohms entre zéro et 1 600 Hz. La constante de temps doit être inférieure à 0,5 seconde.

L'ensemble appareil de mesure et atténuateur doit pouvoir indiquer, avec une précision de $\pm 3\%$, les tensions requises. L'échelle de l'appareil de mesure doit être étalonnée en volts et en décibels, (0 dB correspondant à 1 V). La perturbation due à l'introduction du voltmètre électronique dans le circuit d'entrée ne doit pas provoquer une déviation de l'appareil de lecture dépassant 0,2 dB.

4.2.3 Conditions de fonctionnement recommandées

La tension de bruit v_{eff} est, en général, étroitement proportionnelle à la tension continue appliquée (V_T).

Toutefois, pour avoir la garantie que les mesures effectuées sur toutes les résistances sont tout à fait comparables et pour éviter la surcharge des composants du circuit d'entrée, il est recommandé d'utiliser les valeurs indiquées au tableau I. Ce tableau donne les conditions de fonctionnement recommandées pour une gamme de valeurs de résistances en essai très étendue.

La source d'alimentation recommandée doit pouvoir fournir les tensions indiquées au tableau I. Lorsque la tension continue ou la puissance recommandée au tableau I dépasse les caractéristiques de fonctionnement continu de la résistance en essai, les caractéristiques maximales de fonctionnement devraient être utilisées au lieu de celles indiquées au tableau I.

Le tableau I donne un ensemble de conditions de fonctionnement pour des résistances en essai ayant des valeurs comprises entre 10 ohms et 22 mégohms.

On doit utiliser au moins quatre valeurs de résistance d'isolation (R_m). Ces résistances doivent être exemptes de bruit en charge (par exemple des résistances bobinées de bonne qualité) et doivent avoir des valeurs telles que chacune des quatre puissances de dix comprises entre 1 000 ohms et 1 mégohm soit représentée. Chaque résistance d'isolation doit avoir une dissipation nominale d'au moins 1 W et la tolérance sur la résistance doit être de $\pm 1\%$.

4.3 Dispositif en courant alternatif

Le dispositif en courant alternatif comprend une source d'étalonnage, un amplificateur à bande passante définie, un détecteur quadratique et un indicateur.

4.3.1 Source d'étalonnage

La source d'étalonnage reliée seulement pendant l'étalonnage est un générateur stable de tension sinusoïdale de fréquence fixe comprise entre 980 et 1 020 Hz.

Il doit fournir aux bornes de la résistance d'étalonnage de 1 ohm une tension ajustable entre 0,6 et 0,7 millivolt et stable à $\pm 2\%$.

4.3.2 Amplificateur, détecteur et indicateur

Le gain de l'amplificateur doit être suffisant pour que la mesure de son bruit propre soit possible lorsque, ses bornes d'entrée étant en court-circuit, l'organe de réglage du gain, décrit plus bas, est au voisinage de la position de gain minimum.

Le bruit propre ne doit pas être supérieur à la valeur équivalant au bruit thermique d'une résistance de 6,2 k Ω . On s'en assure en vérifiant que, en remplaçant le court-circuit aux bornes

4.2.2 D.C. electronic voltmeter

The voltmeter shall have a constant impedance of at least 4 megohms, in the frequency range from d.c. to 1 600 Hz (c/s). The time constant shall be less than 0.5 second.

The meter, in conjunction with a step attenuator, shall be capable of indicating the required d.c. test voltages with an accuracy of $\pm 3\%$. The meter scales shall be calibrated both in volts and in decibels, (the 0 dB reference being 1 V). Interference introduced by the voltmeter shall not produce an increase in the noise meter deflection greater than 0.2 dB when the voltmeter is connected to the input circuit.

4.2.3 Recommended operating conditions

The noise voltage ($v_{r.m.s.}$) is, in general, closely proportional to the applied d.c. voltage (V_T).

In order, however, to ensure the most comparable measurements for all resistors and to assist in avoiding overloading components in the input circuit, it is recommended that Table I should be followed, which gives recommended operating conditions for a wide range of values of test resistor.

The recommended d.c. supply shall be capable of providing the voltages specified in Table I. In cases where the d.c. voltage or power recommended in Table I exceeds the continuous rating of the test resistor, the maximum rated value should be used in place of that specified in Table I.

Table I gives a set of operating conditions recommended for the testing of resistors having resistance values from 10 ohms to 22 megohms.

At least four isolation resistors (R_m) are required. These shall be current noise-free (for example, good quality wirewound resistors) and the four decade values from 1 000 ohms to 1 megohm shall be included. Each isolation resistor shall have a power rating of at least 1 W and the resistance tolerance shall be $\pm 1\%$.

4.3 A.C. measuring system

The a.c. measuring system consists of a calibration source, an a.c. band-pass amplifier, a square law detector, and an indicator.

4.3.1 Calibration source

The calibration source, connected only during calibration, shall be a stable sine-wave generator with a fixed frequency within the range 980 to 1 020 Hz (c/s).

The output shall supply a voltage across the 1 ohm calibration resistor. The voltage shall be capable of being set within the range 0.6 to 0.7 millivolt and shall be stable to within $\pm 2\%$.

4.3.2 A.C. band-pass amplifier, square law detector and indicator

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

The circuit noise shall be no greater than that equivalent to the thermal noise of a 6.2 k Ω resistor; therefore, the increase in the output reading when the short is replaced by a 6.2 k $\Omega \pm 5\%$

d'entrée de l'amplificateur par une résistance de 6,2 k Ω , de tolérance $\pm 5\%$, sans changer le réglage du gain ni faire passer du courant dans la résistance, l'accroissement de lecture sur l'appareil de sortie est au moins de 3 dB. La résistance d'isolation (R_m) doit être au moins 100 K Ω et aucune tension continue ne doit être présente dans cet essai.

L'amplificateur doit permettre la mesure de signaux d'entrée allant jusqu'à 650 microvolts, valeur conduisant approximativement à une lecture de 60 dB sur l'échelle de mesure lorsque le système est étalonné.

Un dispositif de réglage continu du gain doit être prévu pour obtenir, quelles que soient les conditions de mesure fixées au tableau I, un gain global de valeur constante. Il faut, à cet effet, que le gain de l'amplificateur puisse être réglé dans une gamme de 33 dB.

La réponse de l'amplificateur doit être constante dans la bande passante. Cette bande passante est limitée par des fréquences de demi-puissance écartées de 1 000 Hz $\pm$ 50 Hz et centrées géométriquement sur une fréquence de 1 000 Hz $\pm$ 50 Hz. L'ondulation dans la partie plate de la bande passante ne doit pas être supérieure à $\pm 0,2$ dB.

Ces prescriptions doivent être satisfaites pour toutes les conditions de mesures données au tableau I. La valeur de la grandeur A, déterminée à l'article 5, et la largeur de la bande passante, déterminée par les fréquences pour lesquelles la puissance est réduite de moitié, ne doivent pas varier de plus de $\pm 4\%$ quelles que soient les conditions de mesures recommandées. Il est suffisant de s'assurer que ces prescriptions sont satisfaites pour les conditions de mesures correspondant aux résistances de valeur 100 ohms et 22 mégohms.

L'amplificateur, le détecteur quadratique et l'appareil de mesure doivent répondre aux signaux de bruit sans introduire d'erreurs dues à une saturation. Cette prescription implique que la réponse dynamique de l'ensemble s'étende à au moins 10 dB au-delà de la valeur efficace indiquée.

Le dispositif en courant alternatif doit être étalonné en décibels depuis -20 dB jusqu'à au moins $+60$ dB, 0 dB correspondant à 1 microvolt dans une décade de fréquence. La précision du détecteur et de l'appareil de mesure doit être de 0,4 dB. La constante de temps doit être comprise entre 0,8 et 1,5 seconde.

4.4 *Interrupteur fonctionnel*

Il convient de disposer d'un interrupteur à trois positions pour établir les trois modes de fonctionnement se succédant normalement dans la méthode de mesure (voir article 6). Ces modes de fonctionnement sont les suivants :

4.4.1 *Étalonnage*

Cette position déconnecte la résistance R_m de l'alimentation continue pour la mettre à la masse. Simultanément, la tension d'étalonnage, à 1 000 Hz, est appliquée à la résistance d'étalonnage.

4.4.2 *Mesure du bruit propre de l'appareillage*

Dans cette position, la tension d'étalonnage est retirée et toutes les autres connexions restent comme au paragraphe 4.4.1.

4.4.3 *Mesure du bruit total*

Dans cette position, la résistance R_m est déconnectée de la masse pour être reliée à la source de tension continue (voir paragraphes 4.4.1 et 4.4.2) de façon qu'une tension continue soit appliquée à la résistance en essai. La source d'étalonnage reste hors circuit.

resistor with no change in the setting of the gain control shall be at least 3 dB. The isolation resistor (R_m) shall be at least 100 k Ω and no d.c. current shall be present for this test.

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

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

The pass band shall be flat, shall have a fixed half-power pass band of approximately 1 000 Hz (c/s) within the limits ± 50 Hz (c/s) and shall be geometrically centred at $1\,000 \pm 50$ Hz (c/s). Ripple in the flat top of the pass band shall not exceed ± 0.2 dB.

These requirements must be satisfied for all measurement conditions listed in Table I. Neither the value A as determined in Clause 5 nor the half-power pass band shall vary with respect to measurement condition by more than $\pm 4\%$ for any recommended measurement condition. Compliance at 100 ohms and at 22 megohms is considered sufficient.

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

The a.c. measuring system shall be calibrated in dB from -20 dB to at least $+60$ dB with 0 dB being 1 microvolt in a frequency decade. The accuracy of the detector and meter shall be ± 0.4 dB. The time constant shall be from 0.8 to 1.5 seconds.

4.4 *Function switch*

It is convenient to have a three-position switch to provide the three modes of operation normally followed in the measurement procedure. (See Clause 6). These are as follows:

4.4.1 *Calibration*

At this setting, the isolation resistor R_m is connected to ground instead of to the d.c. supply. At the same time, the setting supplies the 1 000 Hz (c/s) calibration voltage across the calibration resistor.

4.4.2 *Measurement of system noise*

At this setting, the calibration voltage is removed while all other connections remain as in Sub-clause 4.4.1.

4.4.3 *Measurement of total noise*

At this setting, the R_m terminal, which was grounded for the settings described in Sub-clauses 4.4.1 and 4.4.2, is connected to the d.c. supply instead of to ground, and as a result, d.c. voltage is supplied to the resistor under test. No calibration voltage is present.

5. Détermination de la tension d'étalonnage

L'amplitude correcte de la tension d'étalonnage produit une déviation de l'appareil de mesure égale à celle que produirait une source de bruit en charge de valeur efficace égale à un millivolt dans une décade de fréquence. La tension d'étalonnage devrait produire une déviation de l'appareil de mesure équivalente à +60 dB lorsque l'appareillage est étalonné.

La tension d'étalonnage est calculée à partir de la formule suivante :

$$V_{\text{etal}} = \sqrt{\frac{A}{\log_e 10}} = 0,659 \sqrt{A} \text{ mV.}$$

Le terme A a pour valeur $\log_e \frac{f_2}{f_1}$ dans le cas d'une bande passante rectangulaire idéale de frontières supérieure et inférieure respectivement égales à f_2 et à f_1 . Pour un amplificateur de bande passante quelconque, la valeur du terme A se détermine comme suit :

On mesure le gain en fonction de la fréquence pour la bande passante de l'appareillage. Le gain est le carré du rapport de la tension de sortie, indiquée par l'appareil de mesure de sortie, à la tension d'entrée, appliquée aux bornes de la résistance d'étalonnage.

On calcule ensuite le rapport du gain aux diverses fréquences à celui obtenu à la fréquence d'étalonnage. On divise enfin les valeurs des gains relatifs par leurs fréquences respectives, exprimées en hertz, et on trace sur un graphique la courbe de ces valeurs en fonction de la fréquence en prenant une échelle des abscisses linéaire. L'aire située entre la courbe obtenue et l'axe des abscisses est égale à A ; elle devrait avoir une valeur voisine de l'unité. La précision de la détermination de cette aire doit être de $\pm 2,5\%$.

La source d'étalonnage doit être ajustée de façon à donner aux bornes de la résistance d'étalonnage une tension dont la valeur efficace est à $\pm 2\%$ près la valeur ainsi calculée.

Une méthode indépendante pour vérifier la précision de l'appareillage de mesure, utilisant le bruit thermique, est donnée au paragraphe 8.3.1.

6. Méthode de mesure

La méthode de mesure comprend trois étapes successives :

- 1) l'étalonnage ;
- 2) la mesure du bruit propre de l'appareillage ;
- 3) la mesure de bruit total effectuée simultanément avec celle de la tension continue appliquée aux bornes de la résistance en essai.

Un gain de temps considérable peut être obtenu lorsque l'on mesure un groupe de résistances identiques, lorsque la stabilité de l'appareillage de mesure le permet. Les intervalles auxquels l'étalonnage et la mesure du bruit propre de l'appareillage doivent être répétés dépend de la stabilité de l'appareillage et de la précision de mesure désirée.

6.1 Etalonnage

La résistance à essayer est insérée dans son support et la résistance d'isolation, spécifiée au tableau I, est mise en circuit. L'interrupteur est placé dans la position «étalonnage» et le gain est ajusté de façon que l'appareil de mesure de la tension de bruit indique +60 dB (ou son équivalent).

6.2 Mesure du bruit propre de l'appareillage

L'interrupteur est placé dans la position «bruit de l'appareillage». Après une attente de 5 à 6 secondes pour permettre à l'appareil de mesure d'atteindre une valeur moyenne lisible, le bruit de l'appareillage, (S) en décibels, est lu.

5. Determination of calibration voltage

The correct magnitude of calibration voltage produces a noise meter deflection equal to that produced by a current-noise voltage generator having an r.m.s. value of one millivolt in a frequency decade. The calibration voltage should produce a meter reading equivalent to +60 dB when the measuring system is calibrated.

The calibration voltage is calculated using the following equation:

$$V_{\text{cal}} = \sqrt{\frac{A}{\log_e 10}} = 0.659 \sqrt{A} \text{ mV.}$$

The term, A, represents the expression $\log_e \frac{f_2}{f_1}$ in the case of an ideal pass band with upper and lower frequency limits of f_2 and f_1 respectively. The value for A for any particular band-pass amplifier is computed as follows:

The gain versus frequency is measured throughout the pass band of the system. The gain is given by the square of the ratio of the output voltage, as indicated by the output meter, to the input voltage, applied across the terminals of the calibration resistor.

The ratios of the gains at the various frequencies to the gain at the calibration frequency are then calculated. Finally, these gain ratio values are divided by their respective frequencies, in hertz (cycles/second) and the resulting values plotted against frequency using linear graph paper. The area under the resulting curve equals A and should have a value close to unity. The accuracy of determination of area of A shall be within $\pm 2.5\%$.

The calibration source must be adjusted to provide at the terminals of the calibration resistor a voltage with an r.m.s. value within $\pm 2\%$ of the calculated value.

An independent means for checking the accuracy of the noise measuring system, using thermal noise, is given in Sub-clause 8.3.1.

6. Measurement procedures

The complete operation consists of three consecutive steps:

- 1) calibration;
- 2) measurement of system noise;
- 3) measurement of total noise with the simultaneous measurement of the d.c. voltage across the resistor under test.

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

6.1 Calibration

The resistor to be tested is inserted in the test jig and the appropriate isolation resistor, as specified in Table I, switched into the circuit. The function switch is set to "calibrate" and the gain control adjusted so that the noise voltage meter indicates +60 dB or its equivalent.

6.2 Measurement of system noise

The function switch is set to "system noise". After a delay of 5 to 6 seconds, to allow the meter to reach a representative mean value, the system noise, (S) is read, in decibels.

6.3 Mesure du bruit total

L'interrupteur est placé dans la position «bruit total». Une tension continue est ainsi appliquée à la résistance en essai. La tension continue est ajustée à la valeur requise. Après une attente de 5 à 6 secondes, la tension continue (D) en décibels et le bruit total, (T) en décibels, sont lus.

6.4 Calcul de l'indice de bruit en charge

L'indice de bruit en charge est calculé à partir des trois valeurs ci-dessus S, T et D :

$$\text{Indice de bruit en charge} = T - f(T - S) - D$$

Les valeurs de la quantité $f(T - S)$ en fonction de $(T - S)$ sont données dans le tableau II. Lorsque la différence $(T - S)$ excède 15 dB, la quantité $f(T - S)$ est voisine de zéro et peut être négligée.

7. Précision

La précision de la mesure de la tension de bruit est de $\pm 0,75$ dB. La précision de la détermination de l'indice de bruit est de ± 1 dB lorsque le bruit en charge est grand par rapport au bruit propre de l'appareillage, c'est-à-dire lorsque la différence $(T - S)$ est supérieure à 15 dB.

La précision de la détermination de l'indice de bruit s'amenuise lorsque la valeur du bruit total mesuré approche celle du bruit propre de l'appareillage ; c'est ainsi qu'il n'est pas recommandé d'utiliser l'appareillage pour des mesures précises de l'indice de bruit lorsque $(T - S)$ est inférieur à 1,0 dB. Toutefois il est possible dans ce cas d'indiquer une valeur maximale de l'indice de bruit :

$$\begin{array}{ll} \text{Indice de bruit en charge} & < T - 7 - D \\ \text{si} & (T - S) < 1 \text{ dB} \end{array}$$

Il n'est pas rare que certaines résistances produisent des variations de bruit supérieures à 0,75 dB. Il devrait être reconnu que le manque de reproductibilité de mesures répétées sur de telles résistances ne reflète pas nécessairement un manque de précision de l'appareillage mais, plutôt, une propriété de la résistance.

8. Notes et précautions

De nombreuses précautions doivent être prises lors de la construction et de l'utilisation de l'appareil de mesure du bruit en charge.

8.1 Précautions dans la construction de l'appareil

8.1.1 Blindages

Les blindages doivent être correctement effectués dans la construction de l'appareil.

Le circuit d'entrée travaille à niveau extrêmement faible, il est donc nécessaire que toutes les parties et connexions du circuit d'entrée soient très soigneusement blindées. Les composants soumis à des signaux de niveau élevé ne devraient pas être placés près du circuit d'entrée.

8.1.2 Impédance d'entrée

Cette impédance en parallèle sur R_m et la résistance en essai atténue les signaux de bruit. Cette impédance doit être supérieure à 4 mégohms dans la gamme de fréquences 600 à 1 600 Hz.

Les capacités entre connexions et entre connexions et masse de la résistance en essai et de l'entrée de l'amplificateur doivent être réduites en utilisant des connexions courtes, des espacements convenables et un montage soigné.

6.3 Measurement of total noise

The function switch is set to "total noise" so that d.c. voltage is applied to the resistor under test. The d.c. voltage is then adjusted to the required value. After a delay of 5 to 6 seconds, the d.c. voltage, (D) in decibels, and the total noise, (T) in decibels, are read.

6.4 Computation of the current-noise index

The current-noise index is computed from the above three measured quantities, S, T, and D:

$$\text{Current-noise index} = T - f(T - S) - D$$

Values of $f(T - S)$ as a function of $(T - S)$ are given in Table II. When the difference $(T - S)$ exceeds 15 dB, $f(T - S)$ is essentially zero and may be ignored.

7. Accuracy

The accuracy of the noise voltage measurement shall be ± 0.75 dB. The accuracy of determinations of the current-noise index shall be ± 1 dB when the current noise is large compared to the system noise, i.e. $(T - S)$ is greater than 15 dB.

Since the accuracy of determinations of the current-noise index deteriorates as the measured values of total noise approach the values of system noise, it is not recommended that the system be used for accurate determinations of the index when $(T - S)$ is less than 1.0 dB. However, it is possible to state a maximum value for the index in such cases:

$$\begin{array}{ll} \text{Current-noise index} & < T - 7 - D \\ \text{when} & (T - S) < 1 \text{ dB} \end{array}$$

It is not uncommon for certain resistors to exhibit noise measurement variations greater than 0.75 dB. It should therefore be recognized that lack of agreement of repeated measurements on such resistors does not necessarily reflect a loss of accuracy of the measuring system, but is an indication of a noise property of the resistor.

8. Notes and precautions

There are a number of precautions that should be taken in the construction and use of the current-noise test equipment.

8.1 Precautions in the construction of equipment

8.1.1 Shielding

Good shielding practice shall be adopted in the construction of equipment.

Since the input circuit operates at extremely low signal levels, it is necessary that all parts and leads in the input circuit be very well shielded. Components carrying large signals should not be located near the input circuit.

8.1.2 Input impedance

This impedance, being in parallel with R_m and also in parallel with the resistor under test, attenuates the noise signals. The impedance in the frequency range of 600 to 1 600 Hz (c/s) should therefore be greater than 4 megohms.

The inter-lead and lead-to-ground capacities of the resistor under test and of the input to the a.c. band-pass amplifier should be minimized by the use of short leads, adequate spacing and careful mounting.

8.2 Précautions dans l'utilisation de l'appareil

8.2.1 Emplacement

Des précautions raisonnables comme celles que l'on prend habituellement pour des mesures sensibles doivent être observées dans l'utilisation de cet appareil. Le lieu de travail devrait être exempt de champs magnétiques ou électriques intenses et de sources rayonnantes de grande puissance. Il n'est pas, ordinairement, besoin d'utiliser des chambres blindées. L'emplacement devrait être exempt de vibrations mécaniques importantes et de sources sonores intenses. Ces précautions sont indiquées pour servir de guide dans le choix d'un emplacement convenable. L'aptitude d'un lieu de travail peut être déterminée en comparant les performances de l'appareil dans le lieu choisi à celles obtenues dans un lieu «tranquille». Habituellement les sources de perturbations sont facilement identifiables.

8.2.2 Conditions ambiantes

L'appareil et les résistances à mesurer devraient être stabilisées à une température ambiante de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ avec une humidité relative inférieure à 60%, pendant au moins 24 heures avant l'essai.

8.3 Vérifications des performances

On recommande deux types d'essais pour la vérification des performances de l'appareil. Le premier est basé sur la mesure du bruit de l'appareil et du bruit thermique et le second sur la mesure répétée de résistances connues.

8.3.1 Vérification des performances par la mesure du bruit de l'appareil et du bruit thermique

L'interrupteur est placé sur la position «étalonnage» et les bornes de la résistance R_T sont court-circuitées. Le gain est alors réglé à la «valeur d'étalonnage» et laissé dans cette position pour l'essai.

L'interrupteur est alors placé dans la position «bruit de l'appareil» et le bruit est lu. Le court-circuit est alors retiré et le bruit lu pour chaque valeur de R_m . Les lectures doivent se trouver dans les limites suivantes :

R_m Ω	R_T effective	Limites des lectures de bruit permises en dB
Quelconque	court-circuit	en dessous de -5
1 000	ouvert	de -9 à -4,5
10 000	ouvert	de -5 à -2
100 000	ouvert	de +5 à +7,5
1 M	ouvert	de +14 à +18

Note. — Le gain doit être réglé à la «valeur d'étalonnage» lorsque R_T est court-circuitée.

Les deux premières mesures sont essentiellement des mesures du bruit de l'appareil. Les deux dernières sont essentiellement des mesures du bruit thermique de R_m . La troisième lecture est influencée par les deux facteurs.

8.3.2 Vérification des performances par comparaison de mesures répétées

Un moyen possible pour vérifier la stabilité du fonctionnement de l'appareil est de conserver les résultats des mesures effectuées sur un groupe de résistances de «contrôle». Il est désirable que le groupe de résistances de contrôle comprenne différents types de résistances et représente une grande gamme de valeurs de résistances et de bruit.

En portant les résultats en fonction du temps sur une carte de contrôle on dispose d'un moyen simple et efficace pour dépister les irrégularités.

8.2 Precautions in the use of equipment

8.2.1 Location

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

8.2.2 Ambient conditions

The equipment and resistors to be tested should be stabilized at an ambient temperature of $25 \pm 5^\circ\text{C}$ and less than 60% RH for at least 24 hours before testing.

8.3 Performance checks

Two types of performance check are recommended. The first depends upon the measurement of instrument and thermal noise while the other involves repeated measurement of specific resistors.

8.3.1 Performance check by measurement of instrument and thermal noise

The function switch is turned to “calibrate” and the R_T terminals are short circuited. The gain is then adjusted to the “calibrate line” and left at that position for the remainder of the test.

The function switch is then turned to “system noise” and the noise read. The short circuit is then removed and the indicated noise read for each value of R_m . The readings should fall within the following limits:

R_m Ω	Actual R_T	Permissible limits of system noise reading in dB
Any	short circuit	below —5
1 000	open	—9 to —4.5
10 000	open	—5 to —2
100 000	open	+5 to +7.5
1 M	open	+14 to +18

Note. — Gain must be set to “calibrate line” with R_T short circuited.

The first two readings are essentially measurements of the noise in the amplifier. The last two readings are essentially measurements of thermal noise of R_m in the pass band of the instrument. The third reading is influenced by both factors.

8.3.2 Performance check by comparison of repeated measurements

A feasible means of monitoring the stability of operation of the equipment is to keep a record of the measurements made on a group of “control” resistors. It is desirable for the control group to consist of different types of resistors and to represent a large range of resistance and current-noise values.

Plotting the data against time in the form of a control chart is suggested as a simple and effective means for displaying irregularities.

TABLEAU I
Conditions de fonctionnement recommandées

	0,5 W et plus de dissipation nominale				¹ / ₄ , ¹ / ₈ et ¹ / ₁₀ de W de dissipation nominale			
R_T Ω	R_m Ω	D dB	V_T V	P_T mW	R_m Ω	D dB	V_T V	P_T mW
100	1 000	10,1	3,2	100	1 000	10,1	3,2	100
120	1 000	11,6	3,8	120	1 000	10,9	3,5	100
150	1 000	13,5	4,7	150	1 000	11,8	3,9	100
180	1 000	15,1	5,7	180	1 000	12,5	4,2	100
220	1 000	16,9	7,0	220	1 000	13,4	4,7	100
270	1 000	18,3	8,2	250	1 000	14,3	5,2	100
330	1 000	19,2	9,1	250	1 000	15,1	5,7	100
390	1 000	19,9	9,9	250	1 000	15,8	6,2	100
470	1 000	20,7	10,8	250	1 000	16,7	6,9	100
560	1 000	21,4	11,8	250	1 000	17,5	7,5	100
680	1 000	22,3	13,0	250	1 000	18,3	8,2	100
820	1 000	23,1	14,3	250	1 000	19,2	9,1	100
1 000	1 000	24,0	15,8	250	10 000	20,0	10,0	100
1 200	1 000	24,8	17,3	250	10 000	20,8	11,0	100
1 500	1 000	25,8	19,4	250	10 000	21,7	12,2	100
1 800	1 000	26,6	21,2	250	10 000	22,5	13,4	100
2 200	1 000	27,4	23,4	250	10 000	23,4	14,8	100
2 700	10 000	28,3	26,0	250	10 000	24,3	16,4	100
3 300	10 000	29,2	28,7	250	10 000	25,2	18,2	100
3 900	10 000	29,9	31,2	250	10 000	25,9	19,7	100
4 700	10 000	30,8	34,3	250	10 000	26,7	21,7	100
5 600	10 000	31,5	37,4	250	10 000	27,5	23,7	100
6 800	10 000	32,3	41,2	250	10 000	28,3	26,1	100
8 200	10 000	33,2	45,3	250	10 000	29,1	28,6	100
10 000	10 000	34,0	50,0	250	100 000	30,1	32,0	100
12 000	10 000	34,8	54,8	250	100 000	30,9	35,0	100
15 000	10 000	35,8	61,2	250	100 000	31,8	39,0	100
18 000	10 000	36,6	67,1	250	100 000	32,5	42,0	100
22 000	10 000	37,4	74,2	250	100 000	33,4	47,0	100
27 000	100 000	38,3	82,2	250	100 000	34,3	52,0	100
33 000	100 000	39,2	90,8	250	100 000	35,1	57,0	100
39 000	100 000	40,0	98,7	250	100 000	35,8	62,0	100
47 000	100 000	40,7	108	250	100 000	36,7	69,0	100
56 000	100 000	41,5	118	250	100 000	37,5	75,0	100
68 000	100 000	42,3	130	250	100 000	38,3	82,0	100
82 000	100 000	43,1	143	250	100 000	39,2	91,0	100

R_T est la résistance en essai
 R_m est la résistance d'isolation
D est égal à $20 \log_{10} V_T$
 V_T est la tension continue aux bornes de R_T
 P_T est la puissance dissipée dans R_T .