NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60510-1-5

Première édition
First edition
1988-07

Méthodes de mesure pour les équipements radioélectriques utilisés dans les stations terriennes de télécommunication par satellites

Première partie: Mesures communes aux sous-ensembles et à leurs combinaisons

Section cinq – Mesures de température de bruit

Methods of measurements for radio equipment used in satellite earth stations

Part 1: Measurements common to sub-systems and combinations of sub-systems

Section Five – Noise temperature measurements

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60510-1-5: 1988

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60510-1-5

Première édition
First edition
1988-07

Méthodes de mesure pour les équipements radioélectriques utilisés dans les stations terriennes de télécommunication par satellites

Première partie: Mesures communes aux sous-ensembles et à leurs combinaisons

Section cinq – Mesures de température de bruit

Methods of measurements for radio equipment used in satellite earth stations

Part 1: Measurements common to sub-systems and combinations of sub-systems

Section Five – Noise temperature measurements

© IEC 1988 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 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 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 Q

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

SOMMAIRE

Pages

PRÉAMBULE 4

PRÉFACE 4

Articles

1. Domaine d'application 6
2. Introduction 6
3. Définitions 6
   - 3.1 Densité spectrale de la puissance de bruit (densité de puissance de bruit) 6
   - 3.2 Densité de puissance de bruit disponible 8
   - 3.3 Température de bruit 8
   - 3.4 Température de bruit moyenne 8
   - 3.5 Largeur de bande de bruit 8
   - 3.6 Température de bruit en service ou température de bruit d'un système 8
   - 3.7 Source de bruit de référence 10
   - 3.8 Température de bruit équivalente d'entrée d'un dispositif à deux accès 10
   - 3.9 Facteur de bruit moyen 12
4. Généralités 12
5. Méthodes de mesure 14
   - 5.1 Méthodes du facteur Y 14
   - 5.1.1 Méthode du milliwattmètre 14
   - 5.1.2 Méthode de l'atténuateur variable 16
   - 5.2 Méthodes de la perte de 3 dB 18
   - 5.2.1 Méthode de la source variable 18
   - 5.2.2 Méthode de la source fixe 20
   - 5.3 Méthode du mesureur automatique du facteur de bruit (ANFM) 22
   - 5.4 Méthode des ondes entretenues 24
6. Présentation des résultats 26
7. Détails à spécifier 26

ANNEXE A — Mesure de la largeur de bande de bruit 28

FIGURES 30

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

PREFACE 5

Clause

1. Scope 7
2. Introduction 7
3. Definitions 7
   - 3.1 Noise power spectral density (noise power density) 7
   - 3.2 Available noise power density 9
   - 3.3 Noise temperature 9
   - 3.4 Average noise temperature 9
   - 3.5 Noise bandwidth 9
   - 3.6 Operating noise temperature or system noise temperature 9
   - 3.7 Reference noise source 11
   - 3.8 Equivalent input noise temperature of a two-port device 11
   - 3.9 Average noise figure 13
4. General considerations 13
5. Methods of measurement 15
   - 5.1 *Y*-factor methods 15
   - 5.1.1 Power meter method 15
   - 5.1.2 Variable attenuator method 17
   - 5.2 3 dB loss methods 19
   - 5.2.1 Variable source method 19
   - 5.2.2 Fixed source method 21
   - 5.3 Automatic noise figure meter (ANFM) method 23
   - 5.4 C.W. method 25
6. Presentation of results 27
7. Details to be specified 27

APPENDIX A — Measurement of the noise bandwidth 29

FIGURES 30

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES DE MESURE POUR LES ÉQUIPEMENTS RADIOÉLECTRIQUES UTILISÉS DANS LES STATIONS TERRIENNES DE TÉLÉCOMMUNICATION PAR SATELLITES

Première partie: Mesures communes à des sous-systèmes et à des combinaisons de sous-systèmes

Section cinq – Mesures de température de bruit

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

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 12E: Faisceaux hertziens et systèmes fixes de télécommunication par satellite, du Comité d'Etudes n° 12 de la CEI: Radiocommunications.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
12E(BC)117	12E(BC)122

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHODS OF MEASUREMENT FOR RADIO EQUIPMENT USED IN SATELLITE EARTH STATIONS

Part 1: Measurements common to sub-systems and combinations of sub-systems
Section Five – Noise temperature measurements

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 recommendation for their national rules in so far as the national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 12E: Radio Relay and Fixed-satellite Communications Systems, of IEC Technical Committee No. 12: Radiocommunications.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
12E(CO)117	12E(CO)122

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

MÉTHODES DE MESURE POUR LES ÉQUIPEMENTS RADIOÉLECTRIQUES UTILISÉS DANS LES STATIONS TERRIENNES DE TÉLÉCOMMUNICATION PAR SATELLITES

Première partie: Mesures communes à des sous-systèmes et à des combinaisons de sous-systèmes

Section cinq – Mesures de température de bruit

---

1. Domaine d'application

La présente section porte sur les méthodes de mesure devant être utilisées pour évaluer la température de bruit et le facteur de bruit de sous-systèmes et/ou de combinaisons de sous-systèmes dans des conditions linéaires où l'on dispose d'accès appropriés.

Des mesures appropriées à des systèmes ou sous-systèmes particuliers sont données dans les deuxième et troisième parties de la présente publication.

2. Introduction

Le bruit peut survenir soit extérieurement, soit intérieurement, c'est-à-dire au sein même du matériel. Le bruit extérieur est surtout dû à une source de parasites quelconque associée à un rayonnement thermique venant de l'atmosphère et de la surface de la terre. Le bruit interne est issu du bruit thermique et du bruit des circuits, comme l'effet de grenaille dans des tubes électroniques, le bruit de fluctuation dans les semiconducteurs et les mouvements aux limites de domaines dans les dispositifs ferromagnétiques.

La température de bruit est une mesure commode de la puissance du bruit produite par un système ou un sous-système; il s'agit presque toujours d'une température «équivalente», et non d'une température réelle, puisqu'elle constitue une mesure du résultat de toutes les sources de bruit, qu'elles soient thermiques ou non.

3. Définitions

Les définitions suivantes sont applicables à la présente section.

3.1 *Densité spectrale de la puissance de bruit (densité de puissance de bruit)*

La densité spectrale de la puissance de bruit est définie par:

$$N(f) = \frac{\mathrm{d}P_n(f)}{\mathrm{d}f} \qquad (3\text{-}1)$$

où:

$N(f)$ est la densité spectrale de la puissance du bruit, fonction de la fréquence

$\mathrm{d}P_n(f)$ est la puissance de bruit totale contenue dans l'intervalle de fréquence $\mathrm{d}f$

Note. — Dans la pratique, la densité spectrale de la puissance de bruit peut être considérée comme la puissance de bruit contenue dans une largeur de bande d'un hertz.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

METHODS OF MEASUREMENT FOR RADIO EQUIPMENT USED IN SATELLITE EARTH STATIONS

Part 1: Measurements common to sub-systems and combinations of sub-systems
Section Five – Noise temperature measurements

---

1. Scope

This section covers the methods of measurement to be used in order to evaluate the noise temperature and the noise figure of sub-systems, and/or combinations of sub-systems, under linear conditions where appropriate ports are available.

Measurements appropriate to specific systems or sub-systems are given in Parts 2 and 3 of this publication.

2. Introduction

Noise may arise externally or internally, i.e. within the equipment itself. External noise is principally due to any interference source, together with thermal radiation from the atmosphere and the surface of the earth. Internal noise arises from thermal noise and from circuit noise such as shot noise in thermionic tubes, fluctuation noise in semiconductors and movements of domain boundaries in ferromagnetic devices.

The noise temperature is a convenient measure of the noise power produced by a system or sub-system; it is almost always an "equivalent" temperature rather than an actual temperature, since it is a measure of the result of all the noise sources both thermal and non-thermal.

3. Definitions

The following definitions are applicable to this section.

3.1 *Noise power spectral density (noise power density)*

Noise power spectral density is defined by:

$$N(f) = \frac{\mathrm{d}P_n(f)}{\mathrm{d}f} \qquad (3\text{-}1)$$

where:
$N(f)$ is the noise power spectral density as a function of the frequency
$\mathrm{d}P_n(f)$ is the total noise power contained within the frequency interval $\mathrm{d}f$

Note. — For practical purposes, the noise power spectral density can be considered as the noise power contained in a 1 Hz bandwidth.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.2 *Densité de puissance de bruit disponible*

La densité de puissance de bruit disponible est la densité de puissance de bruit délivrée par une source de bruit à une charge adaptée.

3.3 *Température de bruit*

La température de bruit est le rapport de la densité de puissance de bruit disponible à la constante de Boltzmann:

$$T_n(f) = \frac{N(f)}{k} \quad \text{(K)} \tag{3-2}$$

où:

$T_n(f)$ est la température de bruit, fonction de la fréquence

k est la constante de Boltzmann, soit $1{,}3805 \times 10^{-23}$ J/K

La température de bruit est invariablement une température «équivalente» et non une température réelle. Même si la totalité de la puissance de bruit est d'origine thermique, la température de bruit n'est pas uniquement due au rayonnement d'un seul corps à une seule température.

L'indice «n» indique une température équivalente et son absence indique une température réelle.

3.4 *Température de bruit moyenne*

La température de bruit moyenne est définie par:

$$\overline{T}_n = \frac{P_n}{kB} \quad \text{(K)} \tag{3-3}$$

où:

$\overline{T}_n$ est la valeur moyenne

P_n est la puissance de bruit totale dans la largeur de bande de bruit B définie dans le paragraphe ci-dessous

3.5 *Largeur de bande de bruit*

Si $G(f)$ représente le gain en puissance disponible d'un réseau linéaire sans bruit, gain dépendant de la fréquence, et G_o le gain en puissance disponible à la fréquence centrale ou de référence f_o, la largeur de bande de bruit B est définie comme la largeur de bande d'un filtre idéal sans bruit ayant une caractéristique amplitude/fréquence de forme rectangulaire avec un gain en puissance disponible G_o, et ayant une puissance de bruit de sortie correspondant à un filtre réel (voir figure 1). La densité de puissance de bruit est supposée constante en fonction de la fréquence.

La puissance de bruit à la sortie du filtre peut alors s'exprimer par:

$$P_{no} = \int_0^\infty NG(f)\,\mathrm{d}f = NBG_o \quad \text{(W)} \tag{3-4}$$

où:

N est la puissance de bruit disponible à l'entrée du filtre

D'après l'équation (3-4), la largeur de bande de bruit B est donnée par:

$$B = \frac{1}{G_o}\int_0^\infty G(f)\,\mathrm{d}f \quad \text{(Hz)} \tag{3-5}$$

On notera que la valeur de la largeur de bande de bruit B n'est pas un paramètre constant d'un filtre, mais dépend du choix de f_o qui, à son tour, définit G_o.

3.6 *Température de bruit en service ou température de bruit d'un système*

La température de bruit en service (T_{op}) d'un sous-système ou d'une combinaison de sous-systèmes est la température de bruit qui tient compte du bruit engendré par la totalité des sources, aussi bien extérieures qu'intérieures, dans le matériel essayé.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

3.2 *Available noise power density*

The available noise power density is that noise power density delivered from a noise source to a matched load.

3.3 *Noise temperature*

Noise temperature is the ratio of the available noise power density to Boltzmann's constant:

$$T_n(f) = \frac{N(f)}{k} \quad \text{(K)} \tag{3-2}$$

where:
$T_n(f)$ is the noise temperature as a function of the frequency
k is Boltzmann's constant, 1.3805×10^{-23} J/K

The noise temperature is invariably an "equivalent" temperature, rather than an actual temperature. Even when the total noise power is of thermal origin, the noise temperature is not due solely to the radiation from a single body at a single temperature.

The subscript 'n' indicates an equivalent temperature, and omission of it indicates an actual temperature.

3.4 *Average noise temperature*

The average noise temperature is defined by:

$$\overline{T}_n = \frac{P_n}{kB} \quad \text{(K)} \tag{3-3}$$

where:
$\overline{T}_n$ is the average value, and
P_n is the total noise power within the noise bandwidth B, defined in the sub-clause below

3.5 *Noise bandwidth*

If $G(f)$ represents the frequency-dependent available power gain of a noise-free linear network, and G_o is its available power gain at the nominal centre or reference frequency f_o, then the noise bandwidth B is defined as the bandwidth of an ideal noise-free filter having a rectangular-shaped amplitude/frequency characteristic with an available power gain G_o, and having a noise power output equal to an actual filter (see Figure 1). It is assumed that the noise power density is constant with frequency.

The noise power at the output of the filter can then be expressed as follows:

$$P_{no} = \int_0^\infty NG(f)\,df = NBG_o \quad \text{(W)} \tag{3-4}$$

where:
N is the available noise power at the input of the filter

From equation (3-4), the noise bandwidth B is given by:

$$B = \frac{1}{G_o}\int_0^\infty G(f)\,df \quad \text{(Hz)} \tag{3-5}$$

It should be noted that the value of the noise bandwidth B is not a constant parameter of a filter, but depends upon the choice of f_o, which in turn defines G_o.

3.6 *Operating noise temperature or system noise temperature*

The operating noise temperature (T_{op}) of a sub-system or combination of sub-systems is that noise temperature which accounts for the noise generated by all sources, both external and internal, in the equipment under test.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Pour un dispositif à deux accès ou un certain nombre de dispositifs à deux accès en série, la T_{op} correspondant à l'accès d'entrée du premier est donnée par:

$$T_{op} = T_i + T_\varepsilon \tag{3-6}$$

où T_i est la température de bruit à l'accès d'entrée et T_ε est la température de bruit d'entrée équivalente du dispositif ou de la chaîne de dispositifs constituant le matériel essayé.

Le terme *«température de bruit d'un système»* est souvent employé pour indiquer la température de bruit d'un système de communication complet et est désigné par T_s.

Le terme *«température de bruit en service»* s'emploie dans le même sens, mais est souvent utilisé dans un sens plus général pour tout ensemble comportant une source de bruit, un système ou sous-système en essai et une charge, et est désigné par T_{op}.

3.7 *Source de bruit de référence*

Une source de bruit de référence est une source dont la température de bruit peut être maintenue constante pendant un intervalle de mesure. Il est généralement inutile de connaître la température de bruit d'une source de bruit de référence. Toutefois, si la température de bruit est connue, la source est désignée par source de bruit étalon. La température de bruit d'une source de bruit de référence peut être la température ambiante. Une charge thermique à température ambiante en est un exemple type.

La source de bruit de référence consiste souvent en une charge chaude ou en une charge froide et un atténuateur (donnant un affaiblissement de rapport L) se trouvant à la température ambiante ou presque (voir figure 2). Dans ce cas, la température de référence T_r est donnée par:

$$T_r = \frac{T_{source}}{L} + T_a\left(\frac{L-1}{L}\right) \quad \text{(K)} \tag{3-7}$$

3.8 *Température de bruit équivalente d'entrée d'un dispositif à deux accès*

La température de bruit équivalente d'entrée d'un dispositif à deux accès est une température de bruit fictive qui, ajoutée à celle d'un dispositif sans bruit à deux accès théoriquement idéal ayant la même impédance d'entrée et le même gain que le vrai dispositif, produira la même densité de puissance de bruit de sortie que le dispositif réel.

La densité de puissance de bruit de sortie N_o d'un dispositif à deux accès, avec une température de bruit équivalente d'entrée T_ε lorsqu'il est relié à une source de bruit de température T_{source}, est donnée par:

$$N_o = (T_{source} + T_\varepsilon)\, kG \quad \text{(W/Hz)} \tag{3-8}$$

où:
k est la constante de Boltzmann, et
G est le gain de l'amplificateur

Si $\overline{T}_\varepsilon$ est la température de bruit équivalente d'entrée *moyenne* dans une largeur de bande donnée B, la puissance de bruit de sortie P_{no} d'un dispositif à deux accès est alors:

$$P_{no} = (T_{source} + \overline{T}_\varepsilon)\, kGB \tag{3-9}$$

où:
B est la largeur de bande de bruit, et
T_{source} est supposée constante sur la largeur de bande B

Sauf indication contraire, le terme *température de bruit équivalente d'entrée* sera interprété comme signifiant la température de bruit moyenne d'entrée sur une largeur de bande donnée.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

For a two-port device or a number of two-port devices in series, the T_{op} referred to the input port of the first is given by

$$T_{op} = T_i + T_\varepsilon \tag{3-6}$$

where T_i is the noise temperature at the input port and T_ε is the equivalent input noise temperature of the device or chain of devices comprising the equipment under test.

The term *"system noise temperature"* is often used to indicate the noise temperature of a complete communication system and is designated by T_s.

The term *"operating noise temperature"* is employed in the same sense, but is also often used in a more general sense for any arrangement which includes a noise source, a system or sub-system under test and a load and is designated by T_{op}.

3.7 *Reference noise source*

A reference noise source is a source whose noise temperature can be held constant during a measurement interval. It is usually unnecessary for the noise temperature of a reference noise source to be known. If the noise temperature is known, however, the source is called a standard noise source. The noise temperature of a reference noise source may be the ambient temperature. A thermal load at ambient temperature is a typical example.

Often the reference noise source consists of a hot load or a cold load and an attenuator (of attenuation factor L) which is at or near the ambient temperature (see Figure 2). In this case, the reference temperature T_r is given by:

$$T_r = \frac{T_{source}}{L} + T_a\left(\frac{L-1}{L}\right) \quad \text{(K)} \tag{3-7}$$

3.8 *Equivalent input noise temperature of a two-port device*

The equivalent input noise temperature of a two-port device is a fictitious noise temperature which, when added to that of a theoretically ideal noise-free two-port device having the same input impedance and gain as the actual device, will produce the same output noise power density as the actual device.

The output noise power density N_o of a two-port device with an equivalent input noise temperature T_ε when connected to a noise source of temperature T_{source} is given by:

$$N_o = (T_{source} + T_\varepsilon)\, kG \quad \text{(W/Hz)} \tag{3-8}$$

where:
k is Boltzmann's constant, and
G is the gain of the amplifier

If $\overline{T}_\varepsilon$ is the equivalent *average* input noise temperature over a given bandwidth B, the output noise power P_{no} of a two-port device is then:

$$P_{no} = (T_{source} + \overline{T}_\varepsilon)\, kGB \tag{3-9}$$

where:
B is the noise bandwidth, and
T_{source} is assumed constant over the noise bandwidth B

Unless otherwise specified, the term *equivalent input noise temperature* will be taken to mean the average input noise temperature over a given bandwidth.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.9 *Facteur de bruit moyen*

Le facteur de bruit moyen $\overline{F}$ d'un dispositif à deux entrées est le rapport de la puissance de bruit totale P_o delivrée par le dispositif sur une charge, lorsque la température de bruit de sa charge d'entrée est de 290 K, à la puissance de bruit P_s disponible dans les mêmes conditions à l'accès de sortie d'un dispositif idéal sans bruit.

$$\overline{F} = \frac{P_o}{P_s} = \frac{P_o}{kTGB} \qquad (3\text{-}10)$$

où: $T = 290$ K

Pour un matériel ayant un gain dans plus d'une bande de fréquences, comme la fréquence image dans un système hétérodyne, le dénominateur P_s ne comprend que la puissance de bruit issue de la charge d'entrée se trouvant dans la même bande de fréquences que le signal modulé. Ce cas s'applique aux systèmes de communication par satellite et est connu sous la désignation de «facteur de bruit à bande étroite».

La relation entre le facteur de bruit moyen $\overline{F}$ et la température de bruit équivalente $\overline{T}_\varepsilon$ d'entrée moyenne peut être obtenue par la formule suivante:

$$P_o = k\,290 \cdot GB + k\,\overline{T}_\varepsilon \cdot GB = kGB\,(290 + \overline{T}_\varepsilon) \qquad (3\text{-}11)$$

D'après les équations (3-10) et (3-11), on a:

$$\overline{F} = \frac{kBG\,(290 + \overline{T}_\varepsilon)}{kBG \cdot 290} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{290} + 1 \qquad (3\text{-}12)$$

ou:

$$\overline{T}_\varepsilon = 290 \cdot (\overline{F} - 1) \qquad (3\text{-}13)$$

4. Généralités

Les méthodes employées pour mesurer le facteur de bruit moyen $\overline{F}$ et la température de bruit équivalente moyenne $\overline{T}_\varepsilon$ sont en gros réparties en techniques à large bande et à bande étroite. Les techniques à large bande utilisent typiquement des générateurs de bruit en signal de mesure, tandis que les techniques à bande étroite emploient des générateurs de signaux en ondes entretenues.

Les méthodes de mesure à large bande les plus largement utilisées sont les suivantes:

a) méthode du facteur *Y;*

b) méthode de l'atténuateur de 3 dB;

c) méthode du mesureur automatique du facteur de bruit (ANFM).

La méthode à ondes entretenues utilisant un signal pur est la plus largement employée des mesures à bande étroite. Cette méthode s'applique depuis de très basses fréquences jusqu'à des dizaines de gigahertz.

Le choix de la méthode pour une situation donnée dépend de nombreux facteurs comprenant:

i) précision souhaitée;

ii) instrumentation requise;

iii) disponibilité du matériel;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

3.9 *Average noise figure*

The average noise figure $\overline{F}$ of a two-port device is the ratio of the total noise power P_o delivered by the device into a load, when the noise temperature of its input termination is 290 K, to the noise power P_s available under the same conditions at the output port of an ideal noise-free device.

$$\overline{F} = \frac{P_o}{P_s} = \frac{P_o}{kTGB} \qquad (3\text{-}10)$$

where: $T = 290$ K

For an equipment having gain in more than one frequency band, such as the image frequency in a heterodyne system, the denominator P_s includes only the noise power from the input termination which lies in the same frequency band as the modulated signal. This case is applicable to satellite communication systems and is known as the "narrow-band noise figure".

The relationship between the average noise figure $\overline{F}$ and the average equivalent input noise temperature $\overline{T}_e$ can be obtained as follows:

$$P_o = k\,290 \cdot GB + k\,\overline{T}_e \cdot GB = kGB\,(290 + \overline{T}_e) \qquad (3\text{-}11)$$

From equations (3-10) and (3-11):

$$\overline{F} = \frac{kGB\,(290 + \overline{T}_e)}{kGB \cdot 290} = \frac{\overline{T}_e}{290} + 1 \qquad (3\text{-}12)$$

or:

$$\overline{T}_e = 290 \cdot (\overline{F} - 1) \qquad (3\text{-}13)$$

4. General considerations

The methods employed to measure the average noise figure $\overline{F}$ and the equivalent average noise temperature $\overline{T}_e$ are broadly divided between broadband and narrowband techniques. Broadband techniques typically use noise generators as a measurement signal, whereas narrowband techniques employ c.w. signal generators.

The most widely used broadband methods of measurement are:

a) the *Y*-factor method;

b) the 3 dB attenuator method;

c) the automatic noise figure meter (ANFM) method.

The c.w. method using an unmodulated signal is the most widely used narrowband measurement. This method is applicable from very low frequencies to tens of gigahertz.

The choice of method for a given situation will depend upon many factors, including:

i) desired accuracy;

ii) instrumentation required;

iii) equipment availability;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

iv) gamme de fréquences;

v) type de matériel essayé;

vi) commodité;

vii) vitesse de mesure.

Un résumé des caractéristiques les plus importantes des méthodes de mesure est donné par le tableau I. Ces caractéristiques sont décrites dans la présente section, avec leurs avantages et inconvénients, dans l'intention de donner une compréhension générale des procédures de base mises en œuvre pour chacune des méthodes. Le «matériel essayé» peut donc être soit un seul sous-système (par exemple l'amplificateur à faible bruit), soit un ensemble de sous-systèmes (par exemple l'amplificateur à faible bruit et un convertisseur de fréquence réception). Les dispositifs de mesure applicables à un système ou sous-système particulier sont donnés dans les deuxième et troisième parties de la présente publication.

TABLEAU I

Résumé des caractéristiques des méthodes de mesure

Méthode	Précision		Gamme de fréquences	Vitesse de mesure
	Meilleure (%)	Typique (%)		
Facteur *Y*				
a) Méthode du milliwattmètre	1	2 à 8	10 kHz à 30 GHz	Moyenne
b) Méthode de l'atténuateur	1	2 à 8	10 kHz à 30 GHz	Moyenne
Perte de 3 dB				
a) Méthode de la source variable	5	10 à 25	1 MHz à 3 GHz	Rapide
b) Méthode de la source fixe	2	5 à 20	10 kHz à 30 GHz	Moyenne
Mesureur automatique de facteur de bruit (ANFM)	5	5 à 20	10 MHz à 30 GHz	Rapide
Ondes entretenues	1	5 à 20	1 kHz à 40 GHz	Lente

5. Méthodes de mesure

5.1 *Méthodes du facteur Y*

On utilise couramment deux méthodes du facteur *Y:*

a) méthode du milliwattmètre;

b) méthode de l'atténuateur variable.

Les deux méthodes diffèrent principalement par la manière dont on mesure le facteur *Y.*

5.1.1 *Méthode du milliwattmètre*

On utilise une paire de générateurs de bruit aléatoire et un milliwattmètre, comme le représente la figure 3. L'un des générateurs de bruit (dit «chaud») a une température de bruit plus élevée, T_h, que celle de l'autre générateur (dit «froid»), T_c.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

iv) frequency range;

v) type of equipment under test;

vi) convenience;

vii) speed of measurement.

A summary of the more important characteristics of the measurement methods is given in Table I. They are described in this section together with their advantages and disadvantages with the intention of providing a general understanding of the basic procedures involved for each method. The "equipment under test" can therefore be either a single sub-system (as for example, the low-noise amplifier), or a combination of sub-systems (as for example, the low-noise amplifier and a down converter). The measurement arrangements applicable to a specific system or sub-system are given in Parts 2 and 3 of this publication.

TABLE I

Summary of characteristics of measurement methods

Method	Accuracy		Frequency range	Speed of measurement
	Best (%)	Typical (%)		
Y-Factor				
a) Power meter method	1	2 to 8	10 kHz to 30 GHz	Medium
b) Attenuation method	1	2 to 8	10 kHz to 30 GHz	Medium
3 dB Loss				
a) Variable source method	5	10 to 25	1 MHz to 3 GHz	Fast
b) Fixed source method	2	5 to 20	10 kHz to 30 GHz	Medium
Automatic noise figure meter (ANFM)	5	5 to 20	10 MHz to 30 GHz	Fast
C.W.	1	5 to 20	1 kHz to 40 GHz	Slow

5. Methods of measurement

5.1 *Y-factor methods*

Two *Y*-factor methods are commonly used:

a) the power meter method;

b) the variable attenuator method.

The two methods differ principally in the way in which the *Y*-factor is measured.

5.1.1 *Power meter method*

A pair of random-noise generators and a power meter are used as shown in Figure 3. One of the noise generators (designated "hot") has a higher noise temperature, T_h, than that of the other, T_c (designated "cold").

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les générateurs de bruit chaud et froid fournissent des puissances disponibles connues au matériel essayé, et on mesure les niveaux de puissance de sortie sur le milliwattmètre. Le facteur Y est le rapport des deux niveaux de puissance de sortie correspondant aux deux puissances d'entrée. On calcule $\overline{T}_\varepsilon$ et $\overline{F}$ à partir du facteur Y mesuré et de la température de bruit connue des deux sources de bruit.

La méthode est capable d'assurer une haute précision; en particulier, lorsque le dispositif de mesure est automatisé, il est possible d'avoir des incertitudes de mesure s'abaissant à 1% (0,04 dB) dans des conditions optimales: les incertitudes types sont comprises entre 2% (0,1 dB) et 8% (0,36 dB). Cette méthode est donc généralement choisie lorsqu'il est nécessaire d'avoir une grande précision.

La méthode de mesure est la suivante:

i) Reprenant la figure 3, on relie le générateur de bruit chaud à l'accès d'entrée du matériel essayé et on relève la mesure du milliwattmètre P_h.

ii) On déconnecte le générateur de bruit chaud, on relie le générateur de bruit froid à l'accès d'entrée du matériel essayé, et on relève la mesure du milliwattmètre P_c.

Le facteur Y se calcule par l'équation (5-1):

$$Y = \frac{P_h}{P_c} \tag{5-1}$$

On calcule ensuite la température de bruit équivalente $\overline{T}_\varepsilon$ par l'équation suivante:

$$Y = \frac{P_h}{P_c} = \frac{(T_h + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB}{(T_c + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB} = \frac{T_h + \overline{T}_\varepsilon}{T_c + \overline{T}_\varepsilon} \tag{5-2}$$

où:
G est le gain du matériel essayé
B est la largeur de bande de bruit du matériel essayé
T_h est la température de bruit du générateur de bruit chaud
T_c est la température de bruit du générateur de bruit froid

D'après l'équation (5-2), on a:

$$\overline{T}_\varepsilon = \frac{T_h - Y \cdot T_c}{Y - 1} \tag{5-3}$$

On évalue alors le facteur de bruit $\overline{F}$ d'après $\overline{T}_\varepsilon$ comme suit:

$$\overline{F} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{290} + 1 = \frac{T_h - Y \cdot T_c}{290\ (Y - 1)} + 1 \tag{5-4}$$

On a aussi:

$$\overline{F}_{(dB)} = 10 \log_{10} \overline{F} \tag{5-5}$$

5.1.2 *Méthode de l'atténuateur variable*

La méthode de mesure est semblable à celle décrite au paragraphe 5.1.1, mais l'on utilise un atténuateur variable de précision et un indicateur de niveau du signal pour mesurer Y, comme le montre la figure 4. La précision est semblable à celle qu'on peut obtenir par la méthode du milliwattmètre, mais, dans ce cas, il n'est pas nécessaire de disposer d'un milliwattmètre de précision. La principale erreur de mesure est plutôt attribuable à l'erreur de l'atténuateur qu'à la source de bruit ou à l'indicateur de niveau du signal, de sorte qu'il est nécessaire de s'assurer qu'on emploie un atténuateur variable de la précision appropriée.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

The hot and cold noise generators provide known available powers to the equipment under test, and the output power levels are measured by the power meter. The *Y*-factor is the ratio of the two output power levels, corresponding to the two input powers. $\overline{T}_\varepsilon$ and $\overline{F}$ are calculated from the measured *Y*-factor and the known noise temperatures of the two noise sources.

The method is capable of high accuracy and, particularly when the measuring arrangement is automated, measurement uncertainties as small as 1% (0.04 dB) are possible under optimum conditions: typical uncertainties lie between 2% (0.1 dB) and 8% (0.36 dB). This method is therefore usually chosen when high accuracy and precision are required.

The measurement procedure is as follows:

i) Referring to Figure 3, the hot noise generator is connected to the input port of the equipment under test and the reading of the power meter P_h is recorded.

ii) The hot noise generator is disconnected and the cold noise generator is connected to the input port of the equipment under test and the reading of the power meter P_c is recorded.

The *Y*-factor is calculated from equation (5-1):

$$Y = \frac{P_h}{P_c} \tag{5-1}$$

The equivalent noise temperature $\overline{T}_\varepsilon$ is then calculated from the equation as follows:

$$Y = \frac{P_h}{P_c} = \frac{(T_h + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB}{(T_c + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB} = \frac{T_h + \overline{T}_\varepsilon}{T_c + \overline{T}_\varepsilon} \tag{5-2}$$

where:
G is the gain of the equipment under test
B is the noise bandwidth of the equipment under test
T_h is the noise temperature of the hot noise generator
T_c is the noise temperature of the cold noise generator

From equation (5-2):

$$\overline{T}_\varepsilon = \frac{T_h - Y \cdot T_c}{Y - 1} \tag{5-3}$$

The noise figure $\overline{F}$ is then evaluated from $\overline{T}_\varepsilon$ as follows:

$$\overline{F} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{290} + 1 = \frac{T_h - Y \cdot T_c}{290\ (Y - 1)} + 1 \tag{5-4}$$

Also:

$$\overline{F}_{(dB)} = 10 \log_{10} \overline{F} \tag{5-5}$$

5.1.2 *Variable attenuator method*

The method of measurement is similar to that described in Sub-clause 5.1.1, except that an accurate variable attenuator and a signal level indicator are used to measure *Y*, as shown in Figure 4. The accuracy is similar to that achievable with the power meter method but, in this case, an accurate power meter is not required. The principal measurement error is attributable to attenuator error rather than to the noise source or to the signal level indicator, so it is necessary to ensure that a variable attenuator of appropriate accuracy is used.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La méthode de mesure est la suivante:

i) Se reportant à la figure 4, on relie le générateur de bruit froid à l'accès d'entrée du matériel essayé, et on règle l'atténuateur variable pour obtenir sur l'indicateur une lecture I_c proche de la déviation totale: on relève cette lecture et le réglage de l'indicateur A_c en décibels.

ii) On débranche le générateur de bruit froid et on relie le générateur de bruit chaud à l'entrée du matériel essayé.

iii) On règle l'atténuateur pour obtenir sur l'indicateur la même lecture I_c et on note le nouveau réglage de l'indicateur A_h en décibels.

On calcule alors le facteur Y, en tenant compte que:

$$P_h(\text{dB}) - A_h(\text{dB}) = P_c(\text{dB}) - A_c(\text{dB}) \qquad (5\text{-}6)$$

où:

P_h et P_c sont les puissances de bruit à la sortie du matériel essayé lorsque l'entrée est respectivement reliée au générateur de bruit chaud et au générateur de bruit froid

A_c et A_h sont donnés comme ci-dessus

D'après l'équation (5-6):

$$Y(\text{dB}) = P_h(\text{dB}) - P_c(\text{dB}) = A_h(\text{dB}) - A_c(\text{dB}) \qquad (5\text{-}7)$$

Le facteur Y s'obtient à partir de Y(dB):

$$Y = 10^{(Y(\text{dB})/10)} \qquad (5\text{-}8)$$

On évalue alors $\overline{T}_e$ et le facteur de bruit $\overline{F}$ comme expliqué au paragraphe 5.1.1.

Note. — Cette méthode ne convient pas si le gain du matériel essayé est faible, la contribution de l'atténuateur au bruit devenant alors importante et la précision de la mesure réduite.

5.2 *Méthodes de la perte de 3 dB*

Les méthodes sont semblables à celles décrites au paragraphe 5.1.2, mais on utilise un atténuateur fixe de précision présentant une perte d'insertion de 3 dB au lieu de l'atténuateur variable, et un facteur Y ayant une valeur fixe de 2 (soit 3 dB). Il est donc nécessaire d'employer une source de bruit ayant un niveau de sortie ajustable de manière continue.

Deux méthodes peuvent être employées. La méthode la plus courante emploie pour source de bruit de grenaille une diode thermoionique à limitation de température. Le niveau de sortie d'un tel générateur est facilement ajustable.

Une méthode moins courante emploie un générateur de bruit à niveau fixe et un atténuateur variable pour ajuster le niveau de bruit appliqué au matériel essayé.

Le choix de la méthode dépend de l'équipement disponible et de la gamme de fréquences du matériel essayé.

5.2.1 *Méthode de la source variable*

Le dispositif de mesure est représenté sur la figure 5. Le générateur de bruit à diode fournit au matériel essayé une puissance d'entrée ajustable connue. La largeur de bande de bruit doit excéder celle du matériel essayé.

L'indicateur de niveau du signal donne un niveau de référence de la puissance de sortie, mais la valeur absolue ne présente pas d'importance.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

The measurement procedure is as follows:

i) Referring to Figure 4, the cold noise generator is connected to the input port of the equipment under test and the variable attenuator is adjusted to produce an indicator reading I_c near to full scale: this reading and the attenuator setting A_c in decibels are recorded.

ii) The cold noise generator is disconnected and the hot noise generator is connected to the input of the equipment under test.

iii) The attenuator is adjusted to produce the same indicator reading I_c and the new attenuator setting A_h in decibels is recorded.

The *Y*-factor is then calculated, taking into account that:

$$P_h(\text{dB}) - A_h(\text{dB}) = P_c(\text{dB}) - A_c(\text{dB}) \qquad (5\text{-}6)$$

where:

P_h and P_c are the noise powers at the output of the equipment under test, when the input is connected respectively to hot and cold noise generators

A_c and A_h are given as above

From equation (5-6):

$$Y(\text{dB}) = P_h(\text{dB}) - P_c(\text{dB}) = A_h(\text{dB}) - A_c(\text{dB}) \qquad (5\text{-}7)$$

The *Y*-factor is obtained from Y(dB):

$$Y = 10^{(Y(\text{dB})/10)} \qquad (5\text{-}8)$$

$\overline{T}_\varepsilon$ and the noise figure $\overline{F}$ are then evaluated as discussed in Sub-clause 5.1.1.

Note. — This method is not suitable if the gain of the equipment under test is low because the noise contribution of the attenuator then becomes significant and the measurement accuracy is reduced.

5.2 *3 dB loss methods*

The methods are similar to those described in Sub-clause 5.1.2, except that an accurate fixed attenuator of 3 dB insertion loss is used in place of the variable attenuator and a *Y*-factor of a fixed value of 2 (i.e. 3 dB) is used. It is therefore necessary to use a noise source which has a continuously adjustable output level.

Two methods may be used. The most common method uses a temperature-limited thermionic diode as a source of shot noise. The output level of such a generator is easily adjusted.

A less common method uses a fixed-level noise generator and a variable attenuator to adjust the noise level applied to the equipment under test.

The choice of method depends upon the equipment available and the frequency range of the equipment under test.

5.2.1 *Variable source method*

The measurement arrangement is shown in Figure 5. The diode noise generator supplies an adjustable and known input power to the equipment under test. The bandwidth of the noise should exceed that of the equipment under test.

The signal level indicator provides a reference level of output power but the absolute value is not important.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Cette méthode est couramment employée sur une gamme de fréquences de largeur moyenne, par exemple comprise entre 1 MHz et 3 GHz; la gamme de fréquences est limitée par la gamme de générateurs de bruit de grenaille disponibles. On peut obtenir une précision de mesure de 5% (0,2 dB).

La méthode de mesure est la suivante:

i) Se reportant à la figure 5, on relie l'accès de sortie du matériel essayé à l'indicateur de niveau du signal, et on règle à zéro le courant d'émission du générateur de bruit à diode (le générateur restant connecté au matériel).

Dans ces conditions, la puissance de bruit à la sortie du matériel essayé due au bruit thermique résiduel d'entrée n'est que de:

$$P_1 = (T_a + \overline{T}_\varepsilon)\, kGB \tag{5-9}$$

où:

G et B sont, comme auparavant, le gain et la largeur de bande du matériel essayé
$\overline{T}_\varepsilon$ est la température de bruit équivalente du matériel essayé
T_a est la température ambiante de l'impédance de source du générateur

ii) Régler la sensibilité de l'indicateur de niveau du signal pour obtenir une lecture proche de la déviation totale et noter la lecture I_c.

iii) Débrancher le matériel de l'indicateur de niveau du signal et connecter l'atténuateur de 3 dB dans le circuit.

iv) Augmenter le courant d'émission du générateur de bruit pour obtenir sur l'indicateur la même lecture I_c. Dans ces conditions, la puissance de bruit à la sortie du matériel essayé est la suivante:

$$P_2 = (T_n + \overline{T}_\varepsilon)\, kGB = 2P_1 \tag{5-10}$$

où:

T_n est la température de bruit totale (grenaille+thermique) du générateur de bruit à diode

v) Noter la valeur indiquée de $\overline{F}$ en décibels lue sur le générateur de bruit.
Si le courant d'émission n'est pas calibré en fonction de $\overline{F}$ (dB), calculer $\overline{T}_\varepsilon$ d'après les équations (5-9) et (5-10) comme suit:

$$\frac{(T_n + \overline{T}_\varepsilon)\, kGB}{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\, kGB} = 2 \tag{5-11}$$

et

$$\overline{T}_\varepsilon = T_n - T_a \tag{5-12}$$

Calculer alors le facteur de bruit $\overline{F}$ comme suit:

$$\overline{F} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{290} + 1 \tag{5-13}$$

5.2.2 *Méthode de la source fixe*

Le dispositif de mesure est représenté sur la figure 6 et utilise un générateur de bruit à niveau fixe, un atténuateur variable calibré, un atténuateur fixe de 3 dB et un indicateur de niveau du signal. Le couple générateur/atténuateur assure la même fonction que le générateur de bruit à diode décrit au paragraphe précédent.

En utilisant des générateurs de bruit et atténuateurs de haute précision, cette méthode est capable d'assurer une grande précision: on peut obtenir des incertitudes de mesure aussi faibles que 2% (0,1 dB) dans des conditions optimales, et les incertitudes typiques sont comprises entre 5% (0,2 dB) et 20% (1 dB). La méthode est applicable sur une très large gamme de fréquences, par exemple entre moins de 10 kHz et 30 GHz.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

The method is commonly used over a moderately wide range of frequencies, e.g. from 1 MHz to 3 GHz: the frequency range is limited by the available range of shot noise generators. A measurement accuracy of 5% (0.2 dB) can be achieved.

The measurement procedure is as follows:

i) Referring to Figure 5, the output port of the equipment under test is connected to the signal level indicator and the emission current of the diode noise generator is set to zero (with the generator still connected to the equipment).

Under these conditions, the noise power at the output of the equipment under test due to residual input thermal noise only is:

$$P_1 = (T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB \tag{5-9}$$

where:
G and B are, as before, the gain and bandwidth of the equipment under test
$\overline{T}_\varepsilon$ is the equivalent noise temperature of the equipment under test
T_a is the ambient temperature of the generator source impedance

ii) The sensitivity of the signal level indicator is adjusted to produce a reading near to full scale and the reading I_c is recorded.

iii) The equipment is disconnected from the signal level indicator and the 3 dB attenuator is connected in circuit.

iv) The emission current of the noise generator is increased to produce the same indicator reading I_c. Under these conditions, the noise power at the output of the equipment under test is:

$$P_2 = (T_n + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB = 2P_1 \tag{5-10}$$

where:
T_n is the total (shot + thermal) noise temperature of the diode noise generator

v) The indicated value of $\overline{F}$ in decibels as read from the noise generator is noted.
If the emission current is not calibrated in terms of $\overline{F}$ (dB), $\overline{T}_\varepsilon$ is calculated from equations (5-9) and (5-10) as follows:

$$\frac{(T_n + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB}{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB} = 2 \tag{5-11}$$

and

$$\overline{T}_\varepsilon = T_n - T_a \tag{5-12}$$

The noise factor $\overline{F}$ is then calculated as follows:

$$\overline{F} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{290} + 1 \tag{5-13}$$

5.2.2 *Fixed source method*

The measurement arrangement is shown in Figure 6 and uses a fixed-level noise generator, a calibrated variable attenuator, a 3 dB fixed attenuator and a signal level indicator. The generator/attenuator pair serves the same purpose as the diode noise generator described in the previous sub-clause.

By using high precision noise generators and attenuators, this method is capable of high accuracy: measurement uncertainties as small as 2% (0.1 dB) are achievable under optimum conditions, and typical uncertainties lie between 5% (0.2 dB) and 20% (1 dB). The method is applicable over a very wide range of frequencies, for example from below 10 kHz to 30 GHz.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

La méthode de mesure est la suivante:

i) Reprenant la figure 6, relier l'accès de sortie du matériel essayé à l'indicateur de niveau du signal. Couper le générateur de bruit et régler l'atténuateur variable sur 0 dB, le générateur restant relié à l'atténuateur.

Dans ces conditions, la puissance de bruit à la sortie du matériel essayé est la suivante:

$$P_1 = (\overline{T}_\varepsilon + T_a)\ kGB \tag{5-14}$$

où:
$\overline{T}_\varepsilon$ est la température de bruit équivalente du matériel essayé
T_a est la température de bruit ambiante de l'impédance de source du générateur

ii) Régler la sensibilité de l'indicateur de niveau du signal pour obtenir une lecture proche de la déviation totale, et noter la lecture I_c.

iii) Débrancher alors le matériel essayé de l'indicateur de niveau du signal et connecter l'atténuateur de 3 dB dans le circuit.

iv) Mettre en marche le générateur de bruit et régler l'atténuateur variable pour obtenir sur l'indicateur la même lecture I_c.

Dans ces conditions, la puissance de bruit à la sortie de l'appareil essayé est donnée par:

$$P_2 = [\overline{T}_n\ \alpha + T_a\ (1 - \alpha) + \overline{T}_\varepsilon]\ kGB = 2P_1 \tag{5-15}$$

où:
$\overline{T}_n$ est la température de bruit du générateur de bruit
α est le coefficient de transmittance de l'atténuateur variable
T_a est la température ambiante de l'atténuateur variable
$\overline{T}_\varepsilon$ est la température équivalente du matériel essayé

v) Noter l'affaiblissement A en décibels de l'atténuateur variable et le convertir en coefficient de transmittance α par l'équation (5-16):

$$\alpha = 10^{(-A(\mathrm{dB})/10)} \tag{5-16}$$

Calculer $\overline{T}_\varepsilon$ d'après les équations (5-14) et (5-15) comme suit:

$$\frac{[T_n\alpha + T_a(1-\alpha) + \overline{T}_\varepsilon]\ kGB}{(\overline{T}_\varepsilon + T_a)\ kGB} = 2 \tag{5-17}$$

donc:

$$\overline{T}_\varepsilon = (T_n - T_a)\,\alpha - T_a \tag{5-18}$$

5.3 *Méthode du mesureur automatique du facteur de bruit (ANFM)*

Dans cette méthode, qui fait usage d'un équipement d'essai du commerce, on utilise un générateur de bruit aléatoire commuté et un mesureur automatique du facteur de bruit (ANFM) semblable à celui représenté sur la figure 7, pour mesurer automatiquement le facteur de bruit.

L'ANFM commute cycliquement le générateur de bruit entre deux niveaux de puissance de sortie connus et calcule automatiquement le facteur de bruit $\overline{F}$ qui est directement affiché sur l'appareil de mesure. Cette méthode donne une précision moyenne en raison de difficultés d'étalonnage du générateur de bruit commuté et des circuits analogiques de l'ANFM.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The measurement procedure is as follows:

i) Referring to Figure 6, the output port of the equipment under test is connected to the signal level indicator. The noise generator is switched off and the variable attenuator is set at 0 dB, with the generator still connected to the attenuator.

Under these conditions, the noise power at the output of the equipment under test is:

$$P_1 = (\overline{T}_\varepsilon + T_a)\ kGB \tag{5-14}$$

where:
$\overline{T}_\varepsilon$ is the equivalent noise temperature of the equipment under test
T_a is the ambient noise temperature of the generator source impedance

ii) The sensitivity of the signal level indicator is adjusted to produce a reading near to full scale and the reading I_c is recorded.

iii) The equipment under test is then disconnected from the signal level indicator and the 3 dB attenuator connected into circuit.

iv) The noise generator is switched on and the variable attenuator adjusted to produce the same indicator reading I_c.

Under these conditions, the noise power at the output of the equipment under test is:

$$P_2 = [\overline{T}_n \alpha + T_a(1 - \alpha) + \overline{T}_\varepsilon]\ kGB = 2P_1 \tag{5-15}$$

where:
$\overline{T}_n$ is the noise temperature of the noise generator
α is the transmittance factor of the variable attenuator
T_a is the ambient temperature of the variable attenuator
$\overline{T}_\varepsilon$ is the equivalent temperature of the equipment under test

v) The attenuation A, in decibels, of the variable attenuator is noted and converted to transmittance factor, α, by equation (5-16):

$$\alpha = 10^{(-A(\mathrm{dB})/10)} \tag{5-16}$$

$\overline{T}_\varepsilon$ is calculated from equations (5-14) and (5-15) as follows:

$$\frac{[T_n \alpha + T_a(1 - \alpha) + \overline{T}_\varepsilon]\ kGB}{(\overline{T}_\varepsilon + T_a)\ kGB} = 2 \tag{5-17}$$

therefore:

$$\overline{T}_\varepsilon = (T_n - T_a)\,\alpha - T_a \tag{5-18}$$

5.3 *Automatic noise figure meter (ANFM) method*

In this method, which uses commercially available test equipment, a switched random noise generator and an automatic noise figure meter (ANFM) as shown in Figure 7 are used to measure the noise factor automatically.

The ANFM cyclically switches the noise generator between two known output power levels and automatically computes the noise figure $\overline{F}$ which is displayed directly by the panel meter. This method has medium accuracy because of difficulties in calibrating the switched noise generator and the analogue circuits in the ANFM.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Il est possible d'avoir des incertitudes de mesure aussi faibles que 5% (0,2 dB) dans les meilleures conditions, et les incertitudes typiques sont comprises entre 5% (0,2 dB) et 20% (1 dB). Il existe normalement dans le commerce des appareils pour des fréquences comprises entre 10 MHz et 30 GHz.

La procédure de mesure est la suivante:

Reprenant la figure 7, régler l'intensité du générateur de bruit et les autres organes de commande conformément aux instructions du fabricant et régler le commutateur de la face avant de manière que le facteur de bruit puisse être lu sur l'appareil de mesure. Si besoin est, on pourra calculer la valeur de $\overline{F}$ par l'équation (5-19):

$$\overline{F} = 10^{(\overline{F}(\mathrm{dB})/10)} \qquad (5\text{-}19)$$

et on calcule $\overline{T}_\varepsilon$ comme suit:

$$\overline{T}_\varepsilon = 290\ (\overline{F} - 1) \qquad (5\text{-}20)$$

5.4 *Méthode des ondes entretenues*

La méthode de mesure du facteur de bruit par ondes entretenues est une mesure à bande étroite qui utilise un générateur de signaux sinusoïdaux à fréquence variable. On peut l'employer à la place des méthodes utilisant des générateurs de bruit, sous réserve de connaître la largeur de la bande de bruit B du matériel essayé.

Appliquer au matériel essayé une puissance d'entrée en ondes entretenues P_s connue à la fréquence de référence f_o. Mesurer la sortie dans deux conditions:

a) le signal en ondes entretenues étant coupé – auquel cas la puissance de sortie P_1 n'est constituée que de bruit, et

b) le signal en ondes entretenues étant en service – auquel cas la puissance de sortie P_2 est un mélange du bruit et du signal en ondes entretenues appliqué.

$\overline{F}$ se calcule d'après la puissance de sortie du générateur de signaux P_s et de la puissance de sortie mesurée du matériel essayé.

La méthode de mesure est la suivante:

i) Se reportant à la figure 8, accorder le générateur d'ondes entretenues sur f_o, régler le niveau de sortie sur zéro (le générateur restant connecté au système essayé), et noter la puissance de sortie P_1 du système.

Dans ces conditions, la puissance de bruit P_1 à la sortie du matériel essayé est:

$$P_1 = (T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB \qquad (5\text{-}21)$$

où:
$\overline{T}_\varepsilon$ est la température de bruit équivalente du matériel essayé, et
T_a est la température ambiante de l'impédance de source du générateur

ii) Régler la sortie du générateur d'ondes entretenues à un niveau compris dans la plage linéaire de la caractéristique de transfert du système essayé et qui produit en même temps un niveau de sortie supérieur d'au moins 20 dB à P_1, pour la même fréquence f_o du générateur de signaux. Noter le niveau de puissance P_s disponible délivré par le générateur de signaux, ainsi que la puissance de sortie P_2 délivrée par le matériel essayé.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Measurement uncertainties as small as 5% (0.2 dB) are possible under the best conditions and typical uncertainties lie between 5% (0.2 dB) and 20% (1 dB). Commercially available apparatus is normally available for frequencies between 10 MHz and 30 GHz.

The measurement procedure is as follows:

Referring to Figure 7, the noise generator current and other controls are set in accordance with the manufacturer's instructions and the front panel switch is set so that the noise figure is displayed on the panel meter. If required, the value of $\overline{F}$ may be calculated from equation (5-19):

$$\overline{F} = 10^{(\overline{F}(\mathrm{dB})/10)} \tag{5-19}$$

and $\overline{T}_\varepsilon$ is calculated as follows:

$$\overline{T}_\varepsilon = 290\ (\overline{F} - 1) \tag{5-20}$$

5.4 *C.W. method*

The c.w. method of measuring noise factor is a narrowband measurement which uses a variable frequency sine-wave signal generator. It may be used as an alternative to the methods employing noise generators, provided that the noise bandwidth B of the equipment under test is known.

A known c.w. input power P_s from the signal generator is applied to the equipment under test at the reference frequency f_o. The output is measured under two conditions:

a) with the c.w. signal off – in which case, the output power P_1 is entirely made up of noise, and

b) with the c.w. signal on – in which case the output power P_2 is made up of a mixture of noise and the applied c.w. signal.

$\overline{F}$ is calculated from the signal generator output power P_s and the measured output power from the equipment under test.

The measurement procedure is as follows:

i) Referring to Figure 8, the c.w. generator is tuned to f_o, the output level is set to zero (with the generator still connected to the system under test) and the system output power P_1 is recorded.

Under these conditions, the noise power P_1 at the output of the equipment under test is:

$$P_1 = (T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB \tag{5-21}$$

where:
$\overline{T}_\varepsilon$ is the equivalent noise temperature of the equipment under test, and
T_a is the ambient temperature of the generator source impedance

ii) The c.w. generator output is set to a level which is within the linear range of the transfer characteristic of the system under test, and which at the same time produces an output level at least 20 dB greater than P_1, for the same signal generator frequency f_o. The available power level P_s from the signal generator is recorded, together with the output power P_2 delivered by the equipment under test.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Dans ces conditions:

$$P_2 = P_s \cdot G + (T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB \tag{5-22}$$

et on calcule $\overline{T}_\varepsilon$ comme suit:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB + P_s G}{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB} = 1 + \frac{P_s}{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kB} \tag{5-23}$$

donc:

$$\overline{T}_\varepsilon = \frac{P_s}{\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right) kB} - T_a \tag{5-24}$$

Le facteur de bruit $\overline{F}$ se calcule comme suit:

$$\overline{F} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{T_a} + 1 = \frac{P_s}{\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right) T_a\, kB} \tag{5-25}$$

Par implication, il est indispensable que la largeur de bande de bruit du matériel essayé soit connue, ou, si elle est inconnue, qu'elle soit mesurée conformément à la méthode donnée dans l'annexe A.

6. Présentation des résultats

Les résultats des mesures devront être présentés comme suit:
température de bruit équivalente $\overline{T}_\varepsilon$, exprimée en kelvins

ou

facteur de bruit équivalent $\overline{F}$, exprimé en décibels.

7. Détails à spécifier

Lorsque cette mesure est exigée, les détails suivants seront inclus dans le cahier des charges du matériel:

a) méthode de mesure à utiliser,

b) précision requise du dispositif de mesure,

c) gamme de fréquences où doivent être faites les mesures,

d) niveau maximal d'entrée à appliquer au matériel essayé,

e) point d'interface où doit être faite la mesure.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Under these conditions:

$$P_2 = P_s \cdot G + (T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB \tag{5-22}$$

and $\overline{T}_\varepsilon$ is calculated as follows:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB + P_s G}{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kGB} = 1 + \frac{P_s}{(T_a + \overline{T}_\varepsilon)\ kB} \tag{5-23}$$

therefore:

$$\overline{T}_\varepsilon = \frac{P_s}{\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right) kB} - T_a \tag{5-24}$$

The noise figure $\overline{F}$ is calculated as follows:

$$\overline{F} = \frac{\overline{T}_\varepsilon}{T_a} + 1 = \frac{P_s}{\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right) T_a kB} \tag{5-25}$$

By implication, it is essential that the noise bandwidth of the equipment under test be known, or, if it is not known, it should be measured in accordance with the method given in Appendix A.

6. Presentation of results

The results of the measurements should be presented as follows:
the equivalent noise temperature $\overline{T}_\varepsilon$ expressed in kelvins

or

the equivalent noise figure $\overline{F}$, expressed in decibels.

7. Details to be specified

The following items should be included as required in the detailed equipment specification:

a) method of measurement to be used,

b) required accuracy of the measuring arrangement,

c) frequency range within which the measurements are to be made,

d) maximum input level to be applied to the equipment under test,

e) interface point at which the measurement is to be made.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ANNEXE A

MESURE DE LA LARGEUR DE BANDE DE BRUIT

La largeur de bande de bruit (*Bn*) du matériel essayé peut s'obtenir par intégration numérique. On trouvera en figure 9. des dispositifs de mesure appropriés.

Lorsqu'on emploie la méthode de la figure 9a, il est nécessaire de faire fonctionner l'analyseur de spectre en mode linéaire.

La mesure s'effectue de la manière suivante:

i) Charger le traceur de courbe avec du papier graphique, débrancher l'entrée de l'analyseur de spectre et tracer une ligne de base des signaux à l'origine sur le traceur.

ii) Reconnecter la sortie du matériel essayé à l'analyseur de spectre, et tracer la caractéristique amplitude/fréquence. La caractéristique devra se prolonger assez loin de part et d'autre de la fréquence centrale pour recouper la ligne de base.

iii) A l'aide du compteur de fréquence du générateur de poursuite, établir deux points de référence de fréquence sur la ligne de base de manière à déterminer l'incrément de fréquence (Δf) pour chaque division de l'échelle.

iv) Pour chaque division (en fréquence) de l'échelle située au-dessus de la ligne de base, noter le nombre de divisions de l'échelle d'amplitude (A_i), ainsi que le carré de ce nombre (A_i^2).

v) Pour trouver la largeur de bande de bruit, calculer la somme de tous les carrés et la diviser par le carré de la plus grande amplitude. Le résultat est alors multiplié par l'incrément de fréquence par division (Δf). On obtient ainsi la largeur de bande de bruit (*Bn*):

$$Bn = \frac{\Sigma A_i^2}{A_{max}^2} \cdot \Delta f$$

Un autre dispositif de mesure est représenté en figure 9b. Dans ce cas, la procédure est la même que ci-dessus, à l'exception de la fréquence d'entrée qui est réglée manuellement et de la tension HF qui est enregistrée sur une échelle linéaire. L'incrément de fréquence devra être tel qu'environ 100 points de lecture couvriront la caractéristique amplitude/fréquence du matériel essayé entre points à 30 dB de part et d'autre de la fréquence centrale de la bande passante.

Dans les deux dispositifs de mesure, le matériel essayé devra être bouclé sur son impédance de charge nominale. Il est aussi nécessaire de s'assurer que le niveau d'entrée appliqué au matériel essayé reste constant pour chacune des fréquences d'essai.

On notera que la première méthode ne peut pas être utilisée lorsqu'une transposition de fréquence a lieu dans le matériel essayé.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

APPENDIX A

MEASUREMENT OF THE NOISE BANDWIDTH

The noise bandwidth of the equipment under test (Bn) may be obtained by numerical integration. Suitable measurement arrangements are shown in Figure 9.

When the method shown in Figure 9a is used, it is necessary that the spectrum analyser be operated in a linear mode.

The measurement is carried out as follows:

i) With linear graph paper in the X-Y recorder, the input to the spectrum analyser is disconnected and a zero signal base line is drawn on the recorder.

ii) The output of the equipment under test is reconnected to the spectrum analyser and the amplitude/frequency characteristic is plotted. The characteristic needs to extend far enough on either side of the centre frequency to meet the base line.

iii) Using the frequency counter in the tracking generator, two frequency reference points on the base line are established so that the frequency increment (Δf) for each scale division is determined.

iv) For each scale division (in frequency) that is above the base line, the number of scale divisions of amplitude are recorded (A_i), together with the square of this number (A_i^2).

v) To find the noise bandwidth, the sum of all the squares is calculated and divided by the square of the largest amplitude. This is then multiplied by the frequency increment per division (Δf). The result is the noise bandwidth (Bn):

$$Bn = \frac{\Sigma A_i^2}{A_{max}^2} \cdot \Delta f$$

An alternative measurement arrangement is shown in Figure 9b. The procedure in this case is the same as above, except that the input frequency is manually adjusted and the r.f. voltage is recorded on a linear scale. The frequency increment should be such that approximately 100 readings cover the amplitude/frequency characteristic of the equipment under test between 30 dB points on either side of the centre frequency of the pass-band.

In both measurement arrangements, the equipment under test needs to be terminated by its nominal load impedance. It is also necessary to ensure that the input level to the equipment under test remains constant for each test frequency.

It should be noted that the first method cannot be used when a frequency translation occurs in the equipment under test.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

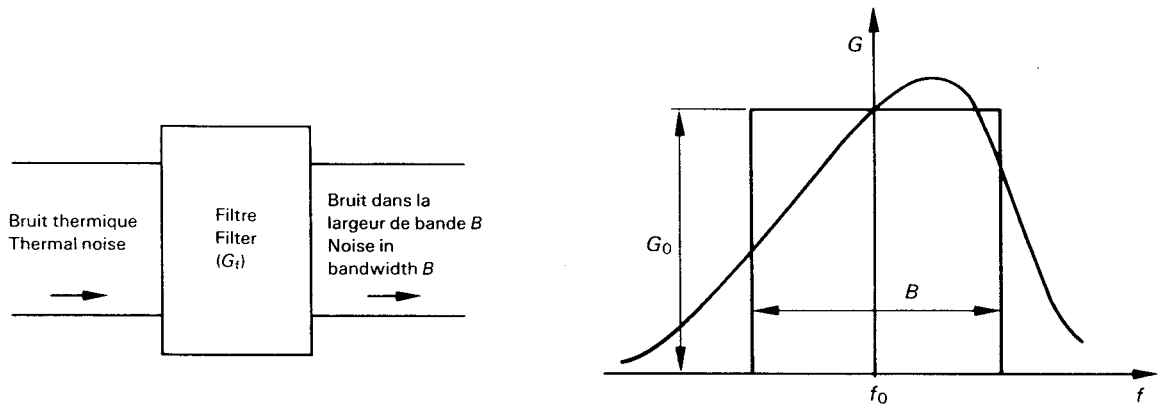

FIG. 1. — Illustration de la largeur de bande de bruit pour un bruit plat.
Illustration of noise bandwidth for flat noise.

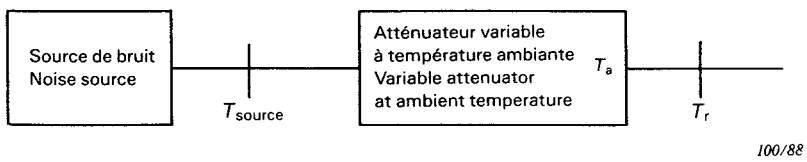

FIG. 2. — Réglage de la température d'une source de référence au moyen d'un atténuateur.
Adjustment of noise temperature of a reference source using an attenuator.

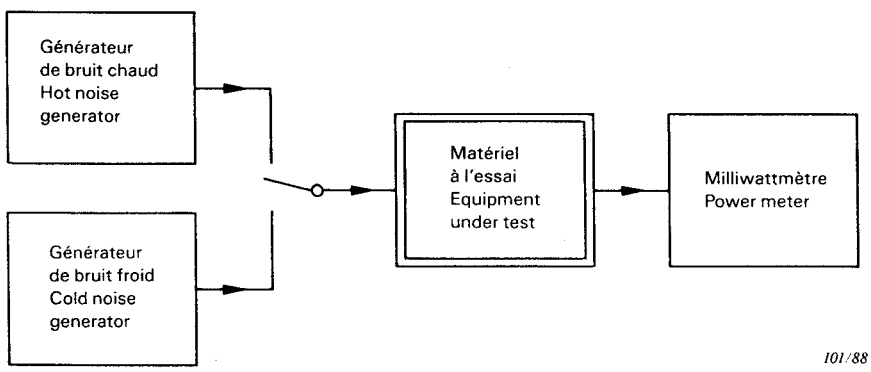

FIG. 3. — Dispositif de mesure du facteur Y par la méthode du milliwattmètre.
Arrangement for the measurement of Y-factor using the power meter method.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

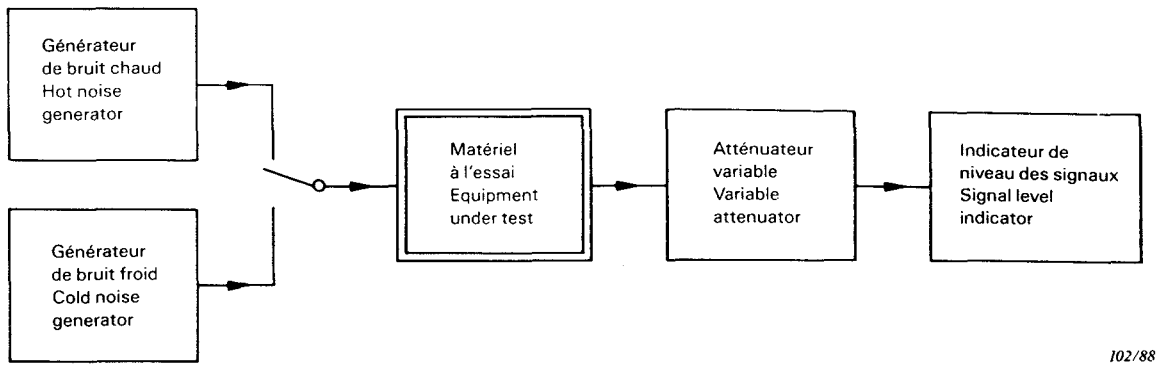

FIG. 4. — Dispositif de mesure du facteur *Y* par la méthode de l'atténuateur.
Arrangement for the measurement of *Y*-factor using the attenuator method.

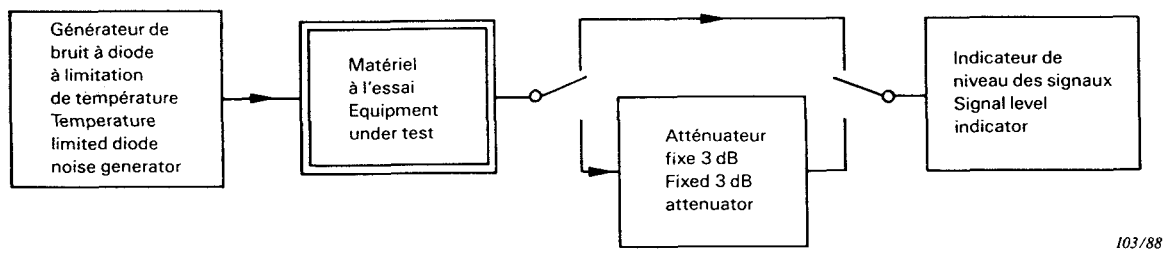

FIG. 5. — Dispositif de mesure du facteur de bruit par la méthode de l'atténuateur de 3 dB avec source de bruit à niveau variable.
Arrangement for the measurement of noise factor using the 3 dB method with a variable level noise source.

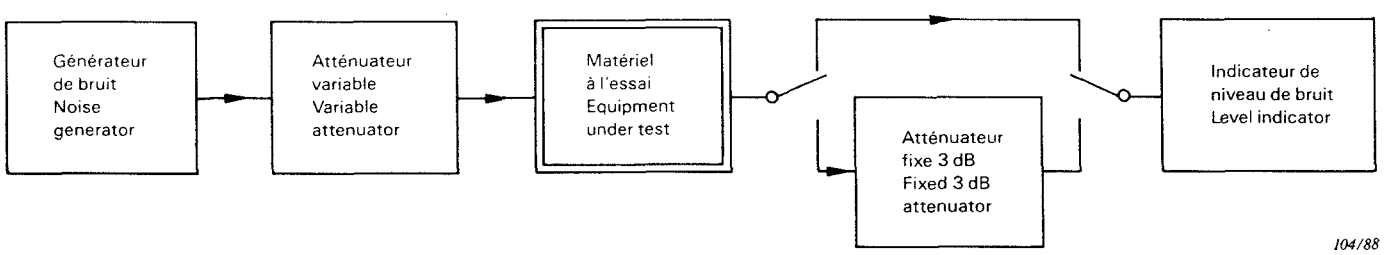

FIG. 6. — Dispositif de mesure du facteur de bruit par la méthode de l'atténuateur de 3 dB avec source de bruit à niveau fixe.
Arrangement for the measurement of noise factor using the 3 dB method with a fixed level noise source.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

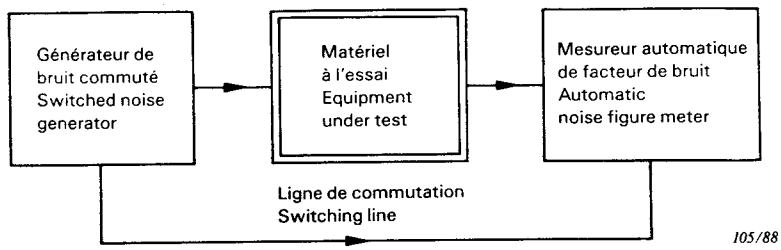

FIG. 7. — Dispositif de mesure automatique du facteur de bruit.
Arrangement for the automatic measurement of noise factor.

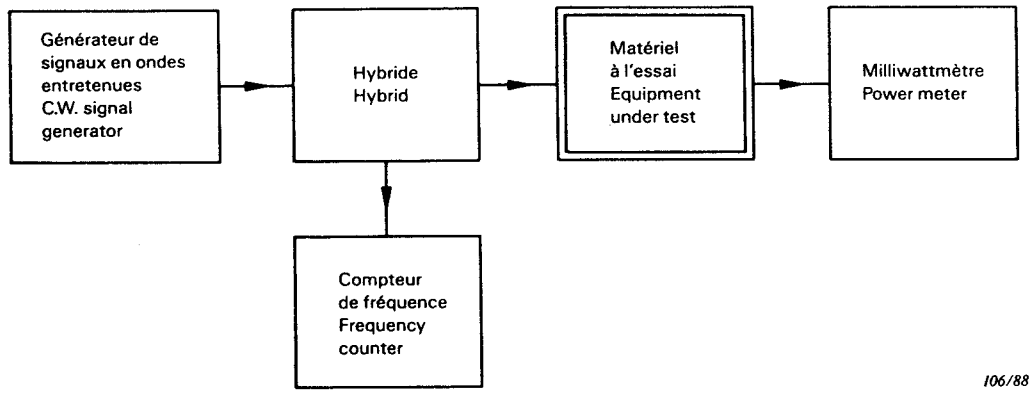

FIG. 8. — Dispositif de mesure du facteur de bruit par la méthode des ondes entretenues.
Arrangement for the measurement of noise factor using the c.w. method.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

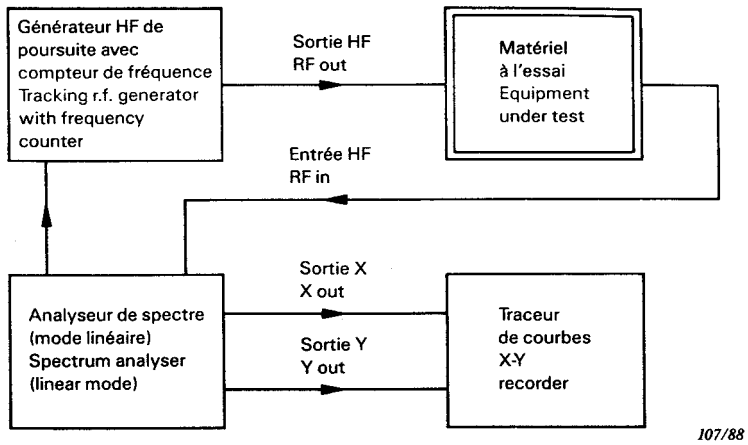

FIGURE 9a.

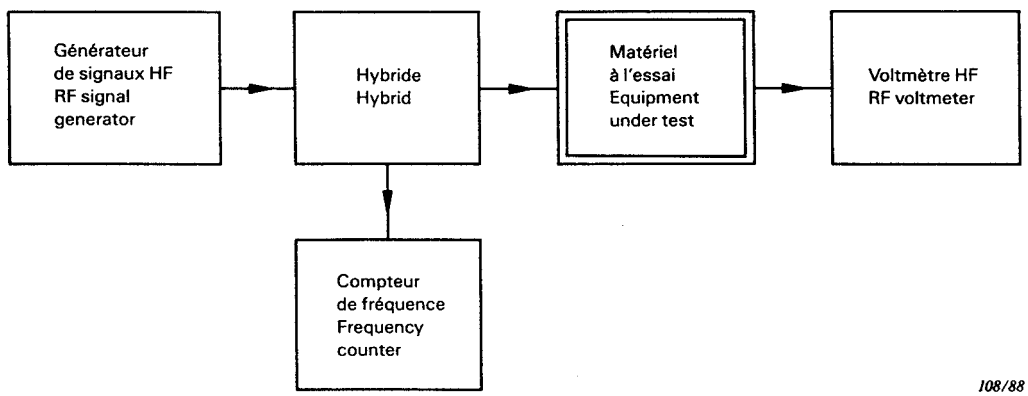

FIGURE 9b.

FIG. 9. — Mesure de la largeur de bande de bruit.
Measurement of the noise bandwidth.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

--`,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

ICS 33.060.30

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale