NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60835-1-2

1992

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1995-02

Amendement 1

Méthodes de mesure applicables au matériel utilisé pour les systèmes de transmission numérique en hyperfréquence

Partie 1:
Mesures communes aux faisceaux hertziens terrestres et aux stations terriennes de télécommunications par satellite
Section 2: Caractéristiques de base

Amendment 1

Methods of measurement for equipment used in digital microwave radio transmission systems

Part 1:
Measurements common to terrestrial radio-relay systems and satellite earth stations
Section 2: Basic characteristics

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright – all rights reserved

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

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE L

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

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 12E: Systèmes de communications par faisceaux hertziens et satellites, du comité d'études 12 de la CEI: Radiocommunications.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
12E(BC)164	12E/250/RVD

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

Page 2

SOMMAIRE

Ajouter le titre de l'article 6 suivant:

6 Température de bruit et facteur de bruit

Page 28

Ajouter, après 5.2.5, le nouvel article suivant:

6 Température de bruit et facteur de bruit

6.1 *Introduction*

Le présent article traite des méthodes de mesure à employer pour évaluer le facteur de bruit de sous-systèmes ou d'un ensemble de sous-systèmes dans leurs régimes linéaires lorsque les accès appropriés sont disponibles.

La température de bruit est un paramètre important dans les systèmes de télécommunication par satellite, qui apporte une bonne indication de la puissance de bruit produite par un système ou un sous-système. Elle est généralement exprimée sous forme de température «équivalente» de préférence à une température réelle, car ce sont les effets de toutes les sources de bruit, thermique ou non, qui sont mesurés.

6.2 *Définitions*

La performance d'un récepteur est généralement caractérisée par son facteur de bruit, *NF*, exprimé en décibels. Sur un dispositif à deux accès, il est défini comme étant le rapport entre le rapport signal/bruit en entrée et le rapport signal/bruit en sortie, les conditions d'adaptation étant satisfaites. Le facteur de bruit indique donc dans quelle mesure le rapport signal/bruit en sortie est inférieur à celui présent en entrée. En conséquence, *NF* est toujours supérieur à 0 dB.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

FOREWORD

This amendment has been prepared by sub-committee 12E: Radio relay and satellite communication systems, of IEC technical committee 12: Radiocommunications.

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

DIS	Report on voting
12E(CO)164	12E/250/RVD

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

Page 3

CONTENTS

Add the title of clause 6 as follows:

6 Noise temperature and noise figure

Page 29

Add, after 5.2.5, the following new clause:

6 Noise temperature and noise figure

6.1 *Introduction*

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

Noise temperature is an important parameter in satellite systems and is a convenient indication of the noise power produced by a system or sub-system. It is usually expressed in terms of an "equivalent" temperature rather than an "actual" temperature, since it is a measure of the effects of all the thermal and non-thermal noise sources.

6.2 *Definitions*

The performance of a receiver is generally characterized by its noise figure *NF*, expressed in decibels. For a two-port device it is defined as the ratio of the signal-to-noise ratio at the input to the signal-to-noise ratio at the output under matched conditions. The noise figure therefore indicates how much the signal-to-noise ratio at the output is lower than at the input. *NF* is therefore always greater than 0 dB.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

La température équivalente de bruit, T_E, est liée au facteur de bruit F, exprimé en valeur numérique, par l'expression:

$$T_E = 290\ (F-1) \qquad (7\text{-}1)$$

Le facteur de bruit, NF, exprimé en décibels, est défini comme suit:

$$NF = 10 \log_{10}\ (1 + \frac{T_E}{290}) \qquad (7\text{-}2)$$

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

La température équivalente de bruit T_E d'un dispositif à deux accès est une température de bruit fictive qui, lorsqu'elle est ajoutée à celle de la source d'entrée reliée à un dispositif à deux accès théoriquement parfait (exempt de bruit), ayant la même impédance d'entrée et le même gain que le dispositif réel, produit la même densité de puissance de bruit en sortie que le dispositif réel.

La densité de puissance de bruit en sortie N_o d'un dispositif à deux accès ayant une température équivalente de bruit en entrée T_E lorsqu'il est relié à une source de bruit de température T_{SOURCE} est obtenue comme suit:

$$N_o = (T_{SOURCE} + T_E)\ kG \quad (W/Hz) \qquad (7\text{-}3)$$

où

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

G est le gain du dispositif à deux accès.

Si T_E est la température équivalente *moyenne* de bruit en entrée dans une largeur de bande donnée B, la puissance de bruit en sortie P_{no} d'un dispositif à deux accès est alors égale à:

$$P_{no} = (T_{SOURCE} + T_E)\ kGB \qquad (7\text{-}4)$$

où B est la largeur de bande de bruit, en hertz.

On considère que T_{SOURCE} est constante sur la largeur de bande de bruit B.

Sauf spécification contraire, l'expression «température équivalente de bruit» sera comprise comme étant la température moyenne de bruit en entrée dans une largeur de bande donnée.

6.2.2 *Facteur de bruit moyen*

Le facteur de bruit moyen $\overline{F}$ d'un dispositif à deux accès est le rapport entre la puissance de bruit totale P_o issue du dispositif dans une charge adaptée – lorsque la température de bruit de l'impédance reliée à son entrée est de 290 K – et la puissance de bruit P_s issue dans les mêmes conditions de l'accès de sortie d'un dispositif idéal exempt de bruit.

$$\overline{F} = \frac{P_o}{P_s} = \frac{P_o}{kTGB} \qquad (7\text{-}5)$$

où T est égal à 290 K.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

The equivalent noise temperature, T_E, is related to the noise figure F, expressed in linear numerals, by the expression:

$$T_E = 290\ (F-1) \tag{7-1}$$

The noise figure NF, expressed in decibels, is defined as:

$$NF = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{T_E}{290}\right) \tag{7-2}$$

6.2.1 *Equivalent noise temperature of a two-port device*

The equivalent noise temperature T_E of a two-port device is a fictitious noise temperature which, when added to that of the input source connected to 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 noise temperature T_E when connected to a noise source of temperature T_{SOURCE} is given by:

$$N_o = (T_{SOURCE} + T_E)\ kG \quad (W/Hz) \tag{7-3}$$

where

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

G is the gain of the two-port device.

If T_E 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:

$$P_{no} = (T_{SOURCE} + T_E)\ kGB \tag{7-4}$$

where B is the noise bandwidth in hertz.

T_{SOURCE} is assumed constant over the noise bandwidth B.

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

6.2.2 *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 matched 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.

$$\overline{F} = \frac{P_o}{P_s} = \frac{P_o}{kTGB} \tag{7-5}$$

where T is equal to 290 K.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Pour du matériel présentant du gain sur plusieurs bandes de fréquence, par exemple une fréquence image dans un système hétérodyne, le dénominateur P_s ne tient compte que de la puissance de bruit à l'accès d'entrée couvrant la même bande de fréquence que le signal modulé. Cela s'applique aux systèmes de télécommunication par satellite et est appelé «facteur de bruit à bande latérale unique».

Le rapport entre le facteur de bruit moyen $\overline{F}$ et la température équivalente de bruit moyenne en entrée T_E est obtenu comme suit:

$$P_o = kGB \cdot 290 + kT_E GB = kGB\,(290 + T_E) \qquad (7\text{-}6)$$

A partir des équations précédentes:

$$\overline{F} = \frac{kGB\,(290 + T_E)}{kGB \cdot 290} = 1 + \frac{T_E}{290} \qquad (7\text{-}7)$$

où

$$T_E = 290\,(\overline{F} - 1) \qquad (7\text{-}8)$$

Sauf spécification contraire, l'expression «facteur de bruit» sera prise comme le facteur de bruit moyen dans une largeur de bande donnée.

6.3 *Généralités*

Les méthodes employées pour mesurer le facteur de bruit F se répartissent en deux groupes: les techniques à large bande et les techniques à bande étroite. De manière générale, les techniques à large bande font appel à des générateurs de bruit comme signaux de mesure, alors que les techniques à bande étroite recourent à des générateurs d'ondes entretenues.

Les méthodes les plus employées pour les mesures à large bande sont:

a) la méthode du facteur Y;

b) la méthode par affaiblissement de 3 dB.

A bande étroite, la méthode par onde entretenue qui utilise un signal non modulé est la technique la plus courante pour la mesure à bande latérale unique. Cette méthode est applicable depuis de très basses fréquences jusqu'à des dizaines de GHz.

Il existe des appareils de mesure automatiques du facteur de bruit utilisant les techniques ci-dessus. En général, ces appareils commutent périodiquement le générateur de bruit (ou générateur de signaux) sur deux niveaux de sortie connus et mesurent les niveaux de bruit en sortie du récepteur. Le facteur de bruit est alors calculé automatiquement et affiché directement sur un indicateur.

Le choix de la méthode à employer dans une situation donnée dépend de plusieurs facteurs dont:

a) la précision souhaitée;

b) les instruments de mesure exigés;

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

For equipment having gain in more than one frequency band, such as an 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 "single-sideband noise figure".

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

$$P_o = kGB \cdot 290 + kT_E GB = kGB\,(290 + T_E) \tag{7-6}$$

From the above equations:

$$\bar{F} = \frac{kGB\,(290 + T_E)}{kGB \cdot 290} = 1 + \frac{T_E}{290} \tag{7-7}$$

where

$$T_E = 290\,(\bar{F} - 1) \tag{7-8}$$

Unless otherwise specified, the term "noise figure" will be taken to mean the average noise figure over a given bandwidth.

6.3 *General considerations*

The methods employed to measure the noise figure F are divided into two groups: broadband and narrowband techniques. Broadband techniques typically use noise generators as measurement signals, whereas narrowband techniques employ continuous wave (c.w.) signal generators.

The most widely used methods for broadband measurements are:

a) the Y-factor method;

b) the 3 dB loss method.

As a narrowband technique the c.w. method using an unmodulated signal is the most widely used single-sideband measurement. This method is applicable from very low frequencies to tens of GHz.

Automatic noise figure measuring equipment is available which uses the above measurement techniques. Such equipment usually switches the noise generator (or signal generator) periodically between two known output levels and measures the receiver output noise levels. The noise figure is then computed automatically and is displayed directly on an indicator.

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

a) desired accuracy;

b) instrumentation required;

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

c) la bande de fréquences;

d) le type d'équipement à l'essai;

e) la facilité de mise en oeuvre;

f) la rapidité de mesure.

Ces méthodes ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients sont décrites en 6.4 de manière à faciliter une compréhension globale des procédures de base entrant en jeu dans chacune des méthodes. L'«équipement à l'essai» peut alors être soit un seul sous-système, par exemple un amplificateur à faible bruit, soit un ensemble de sous-systèmes, par exemple un amplificateur à faible bruit suivi d'un convertisseur abaisseur de fréquence.

6.4 *Méthode de mesure*

Les méthodes de mesure du facteur de bruit sont présentées dans les paragraphes suivants. La température équivalente de bruit peut, le cas échéant, être calculée par l'équation (7-1) donnée en 6.2.

Toutes les mesures sont fondées sur des méthodes selon lesquelles on applique soit un signal de bruit à large bande soit un signal sinusoïdal permanent sur l'entrée de l'équipement à l'essai et on enregistre l'augmentation de la puissance de sortie provoquée par le signal ainsi appliqué. Le facteur de bruit est alors obtenu par calcul ou par lecture directe de l'indicateur, suivant la méthode spécifique employée, expliquée ci-après.

6.4.1 *Méthode du facteur Y*

Un couple de générateurs de bruit aléatoire et un wattmètre sont reliés à l'équipement à l'essai comme présenté sur la figure 7. L'un des générateurs de bruit, qualifié de «chaud», produit une température de bruit, T_h, plus élevée que celle de l'autre générateur, qualifié de «froid», dont la température de bruit est T_c.

NOTE 1 – Le terme «générateur de bruit "chaud" ou "froid"» correspond à la différence relative des températures de bruit entre les générateurs. Le générateur de bruit peut être une simple charge adaptée à la température ambiante.

Exemples de générateurs de bruit froid et chaud:

froid: une charge adaptée refroidie dans l'azote liquide;

chaud: une charge adaptée chauffée dans un four, une diode saturée en courant ou un tube à gaz.

Les générateurs de bruit chaud et froid fournissent des puissances de bruit disponibles connues à l'équipement à l'essai. Les niveaux de puissance de bruit en sortie de l'équipement à l'essai sont mesurés par le wattmètre. Le facteur Y est le rapport entre les deux niveaux de puissance de bruit en sortie correspondant aux deux conditions en entrée. T_E et F sont calculés à partir du facteur Y mesuré et des températures de bruit connues des deux sources de bruit.

Cette méthode peut procurer une grande précision, et des incertitudes de mesure aussi faibles que 1 % (0,04 dB) peuvent être obtenues dans les meilleures conditions. Les incertitudes typiques de mesure sont comprises entre 2 % (0,1 dB) et 8 % (0,36 dB). Cette méthode est donc généralement préférée lorsqu'une très grande précision est requise.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

c) frequency range;

d) type of equipment under test;

e) convenience;

f) speed of measurement.

These methods are described in 6.4 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, for example a low-noise amplifier, or a combination of sub-systems, for example a low-noise amplifier followed by a down-converter.

6.4 *Method of measurement*

Methods for measuring the noise figure are presented in the following subclauses. If required, the equivalent noise temperature can then be calculated by equation (7-1) given in 6.2.

All measurements are based on methods where either a broadband noise or sinusoidal c.w. signal is applied to the input of the equipment under test and the increase in output power due to the applied signal is recorded. The noise figure is then obtained either by calculation or by directly reading a display, depending on the specific method used, as given in the following.

6.4.1 *Y-factor method*

A pair of random noise generators and a power-meter are connected to the equipment under test as shown in figure 7. One of the noise generators, designated "hot", has a higher noise temperature, T_h, than that of the other generator, designated "cold", which has a noise temperature, T_c.

NOTE 1 – "Hot" or "cold" noise generator means the relative difference in noise temperatures between the generators. The noise generator may be a simple matched load of ambient temperature.

Examples of cold and hot noise generator are as follows:

cold: a matched load cooled in the liquid nitrogen;

hot: a matched load heated in the oven, a current-saturated diode or a gas discharge tube.

The hot and the cold noise generators provide known available noise powers to the equipment under test. The output noise power levels of the equipment under test are measured by the power meter. The *Y*-factor is the ratio of the two noise output power levels, corresponding to the two input conditions. T_E and F are calculated from the measured *Y*-factor and the known noise temperature of the two noise sources.

The method is capable of high accuracy and measurement uncertainties as small as 1 % (0,04 dB) are possible under optimum conditions. Typical measurement 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.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

La méthode de mesure est la suivante:

a) Comme le montre la figure 7, le générateur de bruit chaud est relié à l'accès d'entrée de l'équipement à l'essai. La lecture de la valeur indiquée sur le wattmètre P_h, ou le relevé de la valeur de l'atténuateur de précision A_h (en décibels) qui permet de maintenir la lecture du wattmètre sur une valeur de référence, est enregistré.

b) Le générateur de bruit chaud est débranché et le générateur de bruit froid est relié à l'accès d'entrée de l'équipement à l'essai. La lecture de la valeur indiquée sur le wattmètre P_c, ou le relevé de la valeur de l'atténuateur de précision A_c (en décibels) qui permet de maintenir la lecture du wattmètre sur une valeur de référence, est enregistré.

Le facteur Y est alors obtenu à l'aide des équations suivantes:

$$Y = \frac{P_h}{P_c} \tag{7-9}$$

où

$$Y = 10^{(A_c - A_h)/10} \tag{7-10}$$

La température équivalente de bruit en entrée T_E et le facteur de bruit F peuvent être calculés comme suit:

$$T_E = \frac{T_h - YT_c}{Y - 1} \tag{7-11}$$

$$F = \frac{T_E}{290} + 1 = \frac{T_h - YT_c}{290\,(Y - 1)} + 1 \tag{7-12}$$

NOTE 2 – Dans le cas particulier de $Y = 2$ et $T_c = T_a$, où T_a est la température ambiante, la mesure est généralement appelée méthode par affaiblissement de 3 dB.

6.4.2 *Méthodes par affaiblissement de 3 dB*

Dans ces méthodes, on utilise un atténuateur fixe de précision avec affaiblissement d'insertion de 3 dB. Il est donc nécessaire d'employer une source de bruit dont le niveau de sortie soit réglable en continu.

On peut utiliser deux méthodes. La méthode avec source variable emploie une diode comme source de bruit de grenaille. Le niveau de sortie de ce générateur est facile à régler. La méthode avec source fixe utilise un générateur de bruit de niveau fixe et un atténuateur variable pour régler le niveau de bruit appliqué à l'équipement à l'essai.

La méthode sélectionnée dépend du matériel disponible et de la gamme de fréquences de l'équipement à l'essai.

6.4.2.1 *Méthode avec source variable*

Le montage de mesure est illustré à la figure 8. Le générateur de bruit à diode de niveau variable fournit une puissance en entrée connue et réglable à l'équipement à l'essai. La largeur de bande de bruit doit être supérieure à celle de l'équipement à l'essai. Le wattmètre ne sert qu'à la lecture d'un niveau de référence unique. Cette méthode est communément employée sur une plage modérément large de fréquences, par exemple de 1 MHz à 3 GHz. Cette plage est limitée par la bande de fréquences disponible des générateurs de bruit de grenaille. On peut obtenir une précision de mesure de 5 % (0,2 dB). La méthode de mesure est la suivante:

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

The measurement procedure is as follows:

a) Referring to figure 7, the hot noise generator is connected to the input port of the equipment under test and the reading of the power meter P_h, or the reading of the precision attenuator A_h (in decibels), which produces an indication of the power meter to the reference value, is recorded.

b) 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 or the reading of the precision attenuator A_c (in decibels) which produces an indication of the power meter to the reference value, is recorded.

The *Y*-factor is then obtained using the following equations:

$$Y = \frac{P_h}{P_c} \tag{7-9}$$

where

$$Y = 10^{(A_c - A_h)/10} \tag{7-10}$$

The equivalent noise temperature T_E and the noise figure F can be calculated as follows:

$$T_E = \frac{T_h - YT_c}{Y - 1} \tag{7-11}$$

$$F = \frac{T_E}{290} + 1 = \frac{T_h - YT_c}{290\,(Y - 1)} + 1 \tag{7-12}$$

NOTE 2 – In the special case of $Y = 2$ and $T_c = T_a$, where T_a is the ambient temperature, the measurement is usually called the 3 dB loss method.

6.4.2 *3 dB loss method*

In these methods an accurate fixed attenuator with 3 dB insertion loss is used. It is therefore necessary to use a noise source which has a continuously adjustable output level.

Two methods may be used. The variable source method uses a diode as a hot noise source. The output level of such a generator is easily adjusted. The fixed source 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 equivalent available and the frequency range of the equipment under test.

6.4.2.1 *Variable source method*

The measurement arrangement is shown in figure 8. The variable level diode noise generator supplies an adjustable and known input power to the equipment under test. The bandwidth of the noise shall exceed that of the equipment under test. The power meter is only used to provide a single reference level. The method is commonly used over a moderately wide range of frequencies, e.g. from 1 MHz to 3 GHz. The range is limited by the available frequency range of noise generators. A measurement accuracy of 5 % (0,2 dB) can be achieved. The measurement procedure is as follows:

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

a) Comme le montre la figure 8, l'accès de sortie de l'équipement à l'essai est relié au wattmètre et le courant d'émission du générateur de bruit à diode de niveau variable est réglé sur zéro (le générateur restant branché sur l'équipement).

Dans ces conditions, la puissance de bruit en sortie de l'équipement à l'essai, provoquée par le bruit thermique résiduel en entrée, est égale à:

$$P_1 = (T_a + T_E)\, kGB \qquad (7\text{-}13)$$

où

G et B sont, comme précédemment, le gain et la largeur de bande de l'équipement à l'essai, et

T_E est la température équivalente de bruit de l'équipement à l'essai.

b) La sensibilité du wattmètre est réglée de façon à produire un relevé proche de la pleine échelle et son relevé I_c est enregistré.

c) L'équipement est débranché du wattmètre et l'atténuateur 3 dB est intégré au montage. Le wattmètre est ensuite rebranché.

d) On augmente la puissance en sortie du générateur de bruit jusqu'à obtenir le même relevé I_c sur le wattmètre. Dans ces conditions, la puissance de bruit en sortie de l'équipement à l'essai est égale à:

$$P_2 = (T_n + T_E)\, kGB = 2P_1 \qquad (7\text{-}14)$$

où T_n est la température de bruit du générateur de bruit à diode.

e) On relève la valeur de NF indiquée en décibels sur le générateur de bruit.

Si le courant d'émission n'est pas étalonné en termes de NF (dB), T_E et F sont calculés comme suit:

$$\frac{(T_n + T_E)\, kGB}{(T_a + T_E)\, kGB} = 2 \qquad (7\text{-}15)$$

et

$$T_E = T_n - 2T_a \qquad (7\text{-}16)$$

$$F = \frac{T_n - 2T_a + 290}{290} \approx \frac{T_n - T_a}{T_a} \qquad (7\text{-}17)$$

6.4.2.2 *Méthode avec source fixe*

Le montage de mesure est illustré en figure 9; il comprend un générateur de bruit à niveau fixe, un atténuateur variable étalonné, un atténuateur fixe 3 dB et un wattmètre. Le couple générateur/atténuateur remplit la même fonction que le générateur de bruit à diode décrit en 6.4.2.1.

Les sources fixes de bruit sont généralement caractérisées par le taux de bruit en excès TBE, défini comme suit:

$$TBE = \frac{T_n - 290}{290} \qquad (7\text{-}18)$$

où T_n est la température de bruit de la source fixe de bruit.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

a) Referring to figure 8, the output port of the equipment under test is connected to the power meter and the emission current of the variable level 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 the residual input thermal noise only is:

$$P_1 = (T_a + T_E)\, kGB \tag{7-13}$$

where

G and B are, as before, the gain and noise bandwidth of the equipment under test, and

T_E is the equivalent noise temperature of the equipment under test.

b) The sensitivity of the power meter is adjusted to produce a reading near to full scale and the reading I_c is recorded.

c) The equipment is disconnected from the power meter and the 3 dB attenuator is connected into the circuit. The power meter is then reconnected.

d) The output power of the noise generator is increased to produce the same power meter reading I_c. Under these conditions the noise power at the output of the equipment under test is:

$$P_2 = (T_n + T_E)\, kGB = 2P_1 \tag{7-14}$$

where T_n is the noise temperature of the diode noise generator.

e) The indicated value of NF in decibels read from the noise generator is noted.

If the emission current is not calibrated in terms of NF (dB), T_E and F are calculated and follows:

$$\frac{(T_n + T_E)\, kGB}{(T_a + T_E)\, kGB} = 2 \tag{7-15}$$

and

$$T_E = T_n - 2T_a \tag{7-16}$$

$$F = \frac{T_n - 2T_a + 290}{290} \approx \frac{T_n - T_a}{T_a} \tag{7-17}$$

6.4.2.2 *Fixed source method*

The measurement arrangement is shown in figure 9 and uses a fixed-level noise generator, a calibrated variable attenuator, a 3 dB fixed attenuator and a power meter. The generator/attenuator pair serves the same function as the diode nose generator described in 6.4.2.1.

Fixed noise sources are usually characterized by the excess noise ratio ENR defined as:

$$ENR = \frac{T_n - 290}{290} \tag{7-18}$$

where T_n is the noise temperature of the fixed noise source.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Le *TBE* est généralement exprimé en décibels.

En utilisant des générateurs de bruit et des atténuateurs de haute précision, une grande précision peut être obtenue par cette méthode. On peut obtenir des incertitudes de mesure aussi faibles que 2 % (0,1 dB) dans des conditions optimums, les incertitudes typiques étant comprises entre 5 % (0,2 dB) et 20 % (1 dB). Cette méthode est applicable sur de très larges plages de fréquence, par exemple d'au-dessous de 10 kHz jusqu'à à 30 GHz.

La méthode de mesure est la suivante:

a) Comme le montre la figure 9, l'accès de sortie de l'équipement à l'essai est relié au wattmètre. Le générateur de bruit est mis hors tension et l'atténuateur variable est réglé sur 0 dB, le générateur restant branché sur l'atténuateur.

Dans ces conditions, la puissance de bruit en sortie de l'équipement à l'essai est:

$$P_1 = (T_E + T_a)\, kGB \qquad (7\text{-}19)$$

où

T_E est la température équivalente de bruit de l'équipement à l'essai;

T_a est la température ambiante de l'impédance de source du générateur.

b) La sensibilité du wattmètre est réglée de façon à produire un relevé proche de la pleine échelle et son relevé I_c est enregistré.

c) L'équipement à l'essai est ensuite débranché du wattmètre et l'atténuateur 3 dB est intégré au montage. On rebranche alors le wattmètre.

d) Le générateur de bruit est mis sous tension et l'atténuateur variable est réglé de façon à produire le même relevé I_c sur le wattmètre. Dans ces conditions, la puissance de bruit en sortie de l'équipement à l'essai est:

$$P_2 = (T_n\,(1/L) + T_a\,[1 - (1/L)] + T_E)\, kGB = 2P_1 \qquad (7\text{-}20)$$

où

T_n est la température de bruit du générateur de bruit;

L est la valeur de l'affaiblissement de l'atténuateur variable;

T_a est la température ambiante;

T_E est la température équivalente de bruit en entrée de l'équipement à l'essai.

A partir des deux équations précédentes, T_E et F peuvent être calculés comme suit:

$$T_E = (T_n - T_a)\,(1/L) - T_a \qquad (7\text{-}21)$$

$$F = \frac{(T_n - T_a)\,(1/L) - T_a}{290} + 1 \approx \frac{T_n - T_a}{T_a}\,(1/L) \qquad (7\text{-}22)$$

Généralement, la source fixe est caractérisée par *TBE* et non par T_n. Dans ce cas, T_n est calculé à partir du *TBE* en appliquant l'équation (7-18).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

The *ENR* is usually expressed in decibels.

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, e.g. from below 10 kHz to 30 GHz.

The measurement procedure is as follows:

a) Referring to figure 9, the output port of the equipment under test is connected to the power meter. The noise generator is switched off and the variable attenuator is set to 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:

$$P_1 = (T_E + T_a)\, kGB \tag{7-19}$$

where

T_E is the equivalent noise temperature of the equipment under test;

T_a is the ambient temperature of the generator source impedance.

b) The sensitivity of the power meter is adjusted to produce a reading near to full scale and the reading I_c is recorded.

c) The equipment under test is then disconnected from the power meter and the 3 dB attenuator connected into the circuit. The power meter is then reconnected.

d) The noise generator is switched on and the variable attenuator adjusted to produce the same power meter reading I_c. Under these conditions the noise power at the output of the equipment under test is:

$$P_2 = (T_n\,(1/L) + T_a\,[1 - (1/L)] + T_E)\, kGB = 2P_1 \tag{7-20}$$

where

T_n is the noise temperature of the noise generator;

L is the attenuation factor of the variable attenuator;

T_a is the ambient temperature;

T_E is the equivalent noise temperature of the equipment under test.

From the above two equations T_E and F can be calculated as follows:

$$T_E = (T_n - T_a)\,(1/L) - T_a \tag{7-21}$$

$$F = \frac{(T_n - T_a)\,(1/L) - T_a}{290} + 1 \approx \frac{T_n - T_a}{T_a}\,(1/L) \tag{7-22}$$

Usually, the fixed source is characterized by *ENR* and not by T_n. In this case T_n is calculated from *ENR* by applying equation (7-18).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

6.4.3 *Méthode par onde entretenue*

La méthode de mesure du facteur de bruit par onde entretenue est une mesure à bande étroite qui utilise un générateur de signaux sinusoïdaux à fréquence variable. C'est une solution alternative aux méthodes utilisant des générateurs de bruit, sous réserve que la largeur de bande de bruit de l'équipement à l'essai soit connue.

Une puissance connue P_s de l'onde entretenue issue du générateur de signaux est appliquée à l'entrée de l'équipement à l' essai à la fréquence de mesure f_0. En sortie, la mesure s'effectue en étapes:

a) avec le signal d'entrée inhibé; dans ce cas, la puissance de sortie P_1 est entièrement du bruit; et

b) avec le signal d'entrée actif; dans ce cas, la puissance de sortie P_2 est un mélange comprenant le bruit et le signal sinusoïdal appliqué.

F est calculé à partir de la puissance P_s issue du générateur de signaux et de la puissance mesurée en sortie de l'équipement à l'essai.

La méthode de mesure est la suivante:

1) Comme le montre la figure 10, le générateur d'onde entretenue est accordé sur f_0, son niveau de sortie est réglé à zéro (le générateur restant branché au système à l'essai) et la puissance en sortie du système P_1 est enregistrée. Dans ces conditions, la puissance de bruit P_1 en sortie de l'équipement à l'essai est la suivante:

$$P_1 = (T_a + T_E)\, kGB \qquad (7\text{-}23)$$

où

T_E est la température équivalente de bruit;

T_a est la température ambiante de l'impédance de source du générateur.

2) Le générateur d'onde entretenue est réglé pour un niveau de sortie situé à l'intérieur de la plage linéaire de la caractéristique de transfert du système à l'essai et qui est, en même temps, au moins supérieur de 20 dB à P_1, et ce à la même fréquence f_0 du générateur de signaux. Le niveau de puissance disponible P_s issu du générateur de signaux et la puissance de sortie P_2 fournie par l'équipement à l'essai sont enregistrés.

Dans ces conditions,

$$P_2 = P_s G + (T_a + T_E)\, kGB \qquad (7\text{-}24)$$

et T_E et F sont calculés comme suit:

$$T_E = \frac{P_s}{[(P_2/P_1) - 1]\, kB} - T_a \qquad (7\text{-}25)$$

$$F = \frac{P_s}{[(P_2/P_1) - 1]\, (kB \cdot 290)} - \frac{T_a}{290} + 1 \approx \frac{P_s}{[(P_2/P_1) - 1]\, kBT_a} \qquad (7\text{-}26)$$

Implicitement, il est essentiel que B, la largeur de bande de bruit de l'équipement à l'essai, soit connue.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

6.4.3 *Continuous wave method*

The c.w. method of measuring noise figure 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 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 measurement frequency f_0. The output is measured under two conditions:

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

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

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:

1) Referring to figure 10, the c.w. generator is tuned to f_0, 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:

$$P_1 = (T_a + T_E)\, kGB \tag{7-23}$$

where

T_E is the equivalent noise temperature;

T_a is the ambient temperature of the generator source impedance.

2) 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_0. 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.

Under these conditions,

$$P_2 = P_s G + (T_a + T_E)\, kGB \tag{7-24}$$

and T_E and F are calculated as follows:

$$T_E = \frac{P_s}{[(P_2/P_1) - 1]\, kB} - T_a \tag{7-25}$$

$$F = \frac{P_s}{[(P_2/P_1) - 1]\, (kB \cdot 290)} - \frac{T_a}{290} + 1 \approx \frac{P_s}{[(P_2/P_1) - 1]\, kBT_a} \tag{7-26}$$

By implication, it is essential that B, the noise bandwidth of the equipment under test, be known.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

6.5 *Présentation des résultats*

Les résultats de la mesure doivent être présentés comme suit:

- la température de bruit équivalente T_E exprimée en kelvins, ou
- le facteur de bruit *NF* exprimé en décibels.

6.6 *Détails à spécifier*

Si cette mesure est exigée, les détails suivants doivent être inclus dans le cahier des charges du matériel:

a) méthode de mesure utilisée;

b) fréquence et largeur de bande dans lesquelles les mesures sont effectuées;

c) niveau maximum admis en entrée de l'équipement à l'essai;

d) points d'accès de mesure;

e) maximum permis pour le facteur de bruit ou la température de bruit équivalente;

f) température ambiante;

g) taux de bruit en excès de la source de bruit (le cas échéant).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

6.5 *Presentation of results*

The results of the measurement shall be presented as follows:

- the equivalent noise temperature T_E expressed in kelvins, or
- the noise figure *NF* expressed in decibels.

6.7 *Details to be specified*

If this measurement is required, the following details shall be included, as required, in the detailed equipment specification:

a) method of measurement used;
b) frequency and bandwidth within which the measurements are made;
c) permitted maximum input level to the equipment under test;
d) interface points of measurement;
e) maximum permitted noise figure or equivalent noise temperature;
f) ambient temperature;
g) excess noise ratio of noise source (if applicable).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

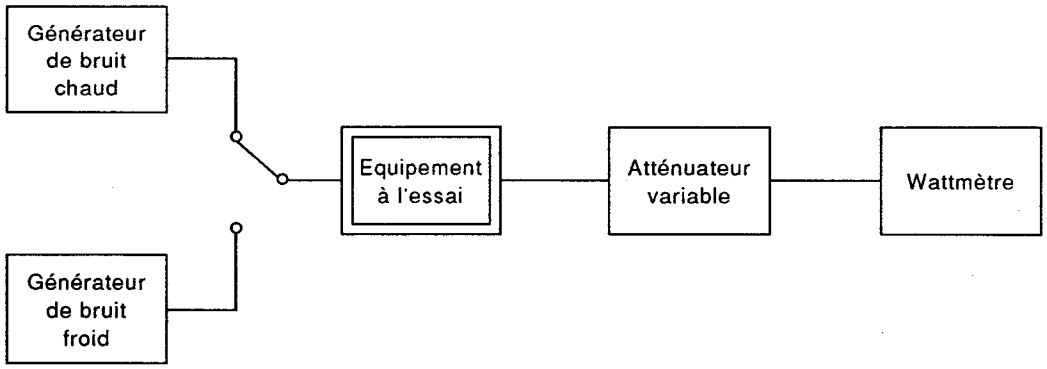

Figure 7 – Montage de mesure du facteur de bruit par la méthode du facteur *Y*

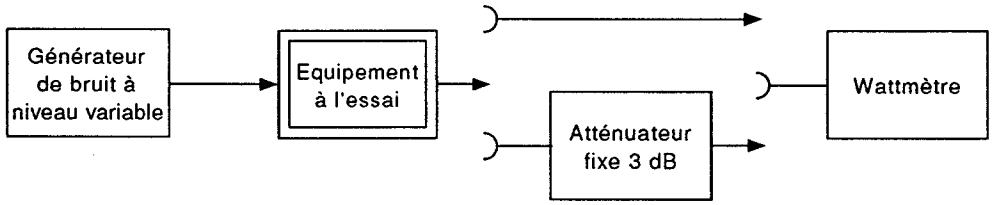

Figure 8 – Montage de mesure du facteur de bruit par la méthode de l'affaiblissement de 3 dB avec source de bruit de niveau variable

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

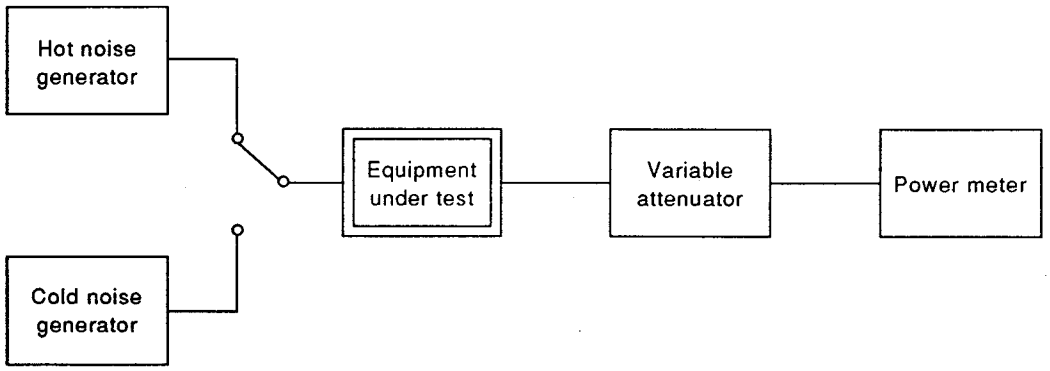

Figure 7 – Arrangement for the measurement of noise figure using the *Y*-factor method

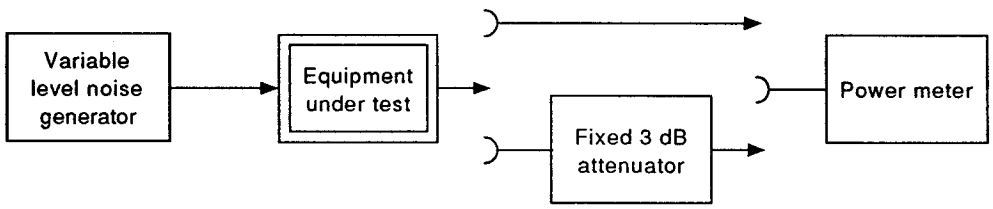

Figure 8 – Arrangement for the measurement of noise figure using the 3 dB loss method with a variable level noise source

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

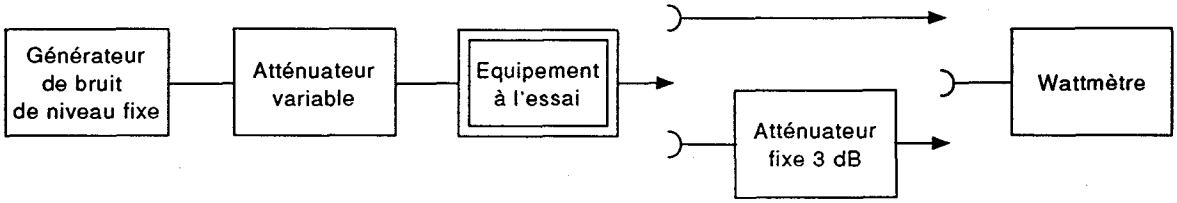

Figure 9 – Montage de mesure du facteur de bruit par la méthode de l'affaiblissement de 3 dB avec source de bruit de niveau fixe

Figure 10 – Montage de mesure du facteur de bruit par la méthode de l'onde entretenue

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

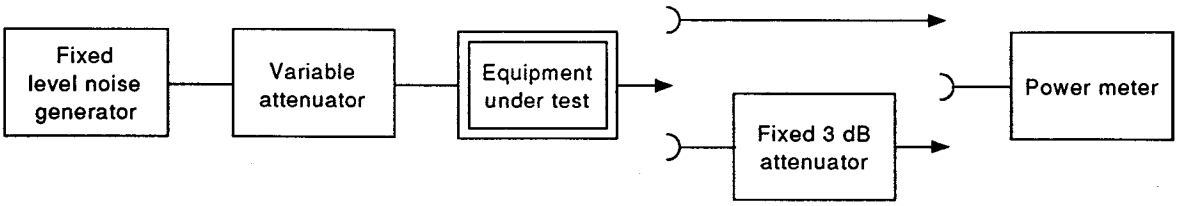

Figure 9 – Arrangement for the measurement of noise figure using the 3 dB loss method with a fixed level noise source

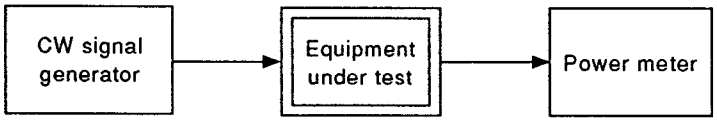

Figure 10 – Arrangement for the measurement of noise figure using the c.w. method

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 33.060.30

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND