

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60151-27

Première édition
First edition
1974-01

**Mesures des caractéristiques électriques
des tubes électroniques**

**Partie 27:
Méthodes de mesure des produits
d'intermodulation dans les tubes d'émission**

**Measurements of the electrical properties
of electronic tubes**

**Part 27:
Methods of measurement for
intermodulation products in transmitting tubes**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60151-27: 1974

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60151-27

Première édition
First edition
1974-01

**Mesures des caractéristiques électriques
des tubes électroniques**

**Partie 27:
Méthodes de mesure des produits
d'intermodulation dans les tubes d'émission**

**Measurements of the electrical properties
of electronic tubes**

**Part 27:
Methods of measurement for
intermodulation products in transmitting tubes**

© IEC 1974 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

H

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MESURES DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES
DES TUBES ÉLECTRONIQUES**

**Vingt-septième partie: Méthodes de mesure des produits d'intermodulation
dans les tubes d'émission**

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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 39 de la CEI: Tubes électroniques.

Elle fait partie d'une série de publications traitant des mesures des caractéristiques électriques des tubes électroniques. Le catalogue des publications de la CEI donne tous renseignements sur les autres parties de cette série.

Un premier projet fut diffusé suivant la décision de la réunion tenue à New Haven en 1967. Ce projet fut ensuite discuté pendant la réunion tenue à Londres en 1968 et on proposa une révision. Le projet révisé fut discuté et modifié pendant la réunion tenue à Washington en 1970.

Un projet définitif, document 39(Bureau Central)243, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1970.

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

Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Canada	Royaume-Uni
Corée (République de)	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENTS OF THE ELECTRICAL PROPERTIES
OF ELECTRONIC TUBES**

**Part 27: Methods of measurement for intermodulation products
in transmitting tubes**

FOREWORD

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

PREFACE

This recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 39, Electronic Tubes.

It forms one of a series of publications dealing with the measurement of the electrical properties of electronic tubes. Reference should be made to the current catalogue of IEC publications for information on the other parts of the series.

A first draft was circulated following a decision of the meeting held in New Haven in 1967. This draft was then discussed during the meeting held in London in 1968 and a revision was proposed. The revised draft was discussed and further amended at the meeting held in Washington in 1970.

A final draft, document 39(Central Office)243, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1970.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Korea (Republic of)
Belgium	Netherlands
Canada	Poland
Czechoslovakia	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America

MESURES DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DES TUBES ÉLECTRONIQUES

Vingt-septième partie: Méthodes de mesure des produits d'intermodulation dans les tubes d'émission

1. Domaine d'application

La présente recommandation concerne les mesures des produits d'intermodulation ayant une importance dans les applications à bande latérale unique, en multiplex, en porteuse indépendante, et les autres applications des tubes amplificateurs linéaires de radiofréquences pour le traitement des signaux.

On connaît plusieurs méthodes de mesure, par exemple:

- la méthode à deux fréquences;
- la méthode à trois fréquences;
- la méthode par bruit Gaussien simulé.

La présente recommandation traite de la méthode à deux fréquences.

2. Terminologie et définitions

2.1 Intermodulation

Production non désirée de puissance à des fréquences nouvelles et non harmoniques, résultant de l'application simultanée à un dispositif électronique amplificateur non linéaire de puissance à deux fréquences ou plus.

2.2 Produits d'intermodulation

Puissance de sortie aux fréquences nouvelles produites par intermodulation.

Note. — Pour une puissance d'entrée aux fréquences f_1, f_2, f_3 , etc., les fréquences des produits d'intermodulation sont:

$$\pm pf_1 \pm qf_2 \pm rf_3, \dots$$

où p, q et r sont des nombres positifs entiers, y compris zéro.

2.3 Rapport d'intermodulation

Rapport d'un niveau de puissance de référence indiqué (1) au niveau de puissance d'un produit d'intermodulation donné, (2) généralement exprimé en décibels.

2.4 Ordre d'un produit d'intermodulation

Somme ($n = p + q$) des deux nombres entiers positifs identifiant la fréquence d'un produit d'intermodulation à la sortie d'un dispositif électronique amplificateur en fonction des fréquences des deux porteuses appliquées simultanément à l'entrée.

2.5 Puissance en crête de modulation

Niveau de puissance qui coïncide avec la crête de l'enveloppe de l'onde.

MEASUREMENTS OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF ELECTRONIC TUBES

Part 27: Methods of measurement for intermodulation products in transmitting tubes

1. Scope

This recommendation deals with measurements of intermodulation products of importance in single side-band, multiplex, independent carrier and other signal processing applications of radio-frequency linear amplifier tubes.

Several methods of measurement are known, e.g.:

- the two-frequency method;
- the three-frequency method;
- the simulated Gaussian noise method.

This recommendation is concerned with the two-frequency method.

2. Terms and definitions

2.1 *Intermodulation*

The unwanted generation of power at new, non-harmonic radio frequencies as the result of simultaneous application of power at two or more frequencies to a non-linear amplifying electronic device.

2.2 *Intermodulation products*

Output power at new frequencies, generated by intermodulation.

Note. — For input power at frequencies f_1, f_2, f_3 , etc., the frequencies of the intermodulation products are:

$$\pm pf_1 \pm qf_2 \pm rf_3, \dots$$

in which p, q and r are positive integers, zero included.

2.3 *Intermodulation ratio*

The ratio of (1) a stated reference power level to (2) the power level of a stated intermodulation product, usually expressed in decibels.

2.4 *Order of an intermodulation product*

The sum ($n = p + q$) of the two positive integers identifying the frequency of an intermodulation product at the output of an amplifying electronic device as a function of the frequencies of the two carriers applied simultaneously at the input.

2.5 *Peak envelope power*

The magnitude of the power coincident with the crest of the wave envelope.

3. Théorie

La mesure du niveau des produits d'intermodulation donne une indication de la distorsion causée à un signal d'entrée par un tube par suite de la non-linéarité de sa caractéristique de transfert.

Un avantage important des techniques de traitement de signal mentionnées plus haut (par exemple bande latérale unique, multiplex, etc.) est la conservation du spectre au cours de la transmission.

Ces techniques peuvent produire deux ou plusieurs composantes coexistant dans le signal qui, à cause de la non-linéarité de l'amplificateur, peuvent produire des signaux additionnels provoqués par les effets d'un signal sur l'autre.

La caractéristique de transfert d'un tube d'émission peut être écrite sous la forme :

$$i_a = I_{a(0)} + k_1 v_g + k_2 v_g^2 + k_3 v_g^3 + k_4 v_g^4 + k_5 v_g^5 + \dots$$

i_a = courant anodique instantané

$I_{a(0)}$ = courant sans signal, composante continue

v_g = tension instantanée de signal à l'entrée

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 = coefficients

Note. — Les puissances paires peuvent être omises parce qu'en pratique ces composantes n'ont pas d'importance dans le canal de fonctionnement, bien qu'elles puissent perturber d'autres canaux.

Si l'on considère que l'entrée comporte deux ondes sinusoïdales de même niveau, de fréquences f_1 et f_2 , la sortie contiendra des termes de la forme :

$$k_n v_g^n (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)^n$$

où v_g est le niveau de l'une ou l'autre des ondes sinusoïdales.

Cela donne des produits d'ordre impair qui tombent dans la bande de fonctionnement désirée.

Ces termes donnent des fréquences de la forme de :

$$2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1, 3f_1 - 2f_2, 3f_2 - 2f_1, \text{ etc.}$$

Les deux premiers termes représentent les produits d'intermodulation du troisième ordre (voir la définition du paragraphe 2.4 et la figure 1, page 14, pour la représentation du spectre).

4. Méthodes de mesure

- 4.1 La méthode à deux fréquences ou à deux signaux est la méthode recommandée pour mesurer les produits d'intermodulation des tubes d'émission. Deux signaux en radiofréquence, de même amplitude, appliqués simultanément à l'entrée du tube amplificateur, produisent, à la sortie, des composantes fondamentales ayant sensiblement la même amplitude, aux radiofréquences f_1 et f_2 , et, de plus, des produits d'intermodulation.

Les fréquences des produits d'intermodulation sont équivalentes à $pf_1 + qf_2$ et $pf_1 - qf_2$, où les coefficients p et q sont n'importe quels nombres entiers positifs.

Seules les composantes d'intermodulation ayant des coefficients entiers dont la différence est l'unité ($p - q = 1$) tombent dans la bande passante du circuit de sortie ou suffisamment près de celle-ci pour avoir une amplitude appréciable.

La signification de la non-linéarité que l'on considère ici s'exprime sous forme du rapport, généralement en décibels, entre l'amplitude de la composante fondamentale à f_1 ou à f_2 et l'amplitude du produit d'intermodulation le plus important à la fréquence ($pf_1 - qf_2$) ou à ($pf_2 - qf_1$).

3. Theory

Measurement of the level of the intermodulation products provides an indication of the distortion caused to an input signal by a tube as the result of the non-linearity of its transfer characteristic.

An important advantage of the above signal processing techniques (i.e. single side-band, multiplex, etc.) is spectrum conservation during transmission.

These techniques may result in two or more coexisting components in the signal which, due to amplifier non-linearity, may result in additional signals arising from the effects of one signal upon another.

The transfer characteristics of a transmitting tube can be written as:

$$i_a = I_{a(0)} + k_1 v_g + k_2 v_g^2 + k_3 v_g^3 + k_4 v_g^4 + k_5 v_g^5 + \dots$$

i_a = instantaneous anode current

$I_{a(0)}$ = no signal current, d.c.

v_g = instantaneous input signal voltage

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 = coefficients

Note. — The even powers may be omitted because in practice these components are not important in the operating channel, although they can disturb others.

If the input is considered as two sine waves of equal level of frequencies f_1 and f_2 , the output will contain terms of the form:

$$k_n v_g^n (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)^n$$

where v_g is the level of either sine wave.

This results in odd order products which fall into the desired band of operation.

These terms give frequencies in the form of:

$$2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1, 3f_1 - 2f_2, 3f_2 - 2f_1, \text{ etc.}$$

The first two terms represent the third order intermodulation products (see definition of Sub-clause 2.4 and Figure 1, page 14, for spectrum representation).

4. Methods of measurement

- 4.1 The two-frequency or two-tone method is the recommended method for measuring intermodulation products of transmitting tubes. Two equal amplitude radio-frequency signals applied simultaneously to the input of the amplifier tube, produce, at the output, fundamental components of substantially equal amplitude at radio frequencies f_1 and f_2 and, in addition, intermodulation products.

The frequencies of the intermodulation products are equivalent to $pf_1 + qf_2$ and $pf_1 - qf_2$, wherein the coefficients p and q are any positive integers.

Only the intermodulation components having integral coefficients whose difference is unity ($p - q = 1$) fall within the pass-band of the output circuit or near enough to it to have an appreciable amplitude.

The significance of non-linearity considered here is expressed in terms of the ratio, generally in decibels, between the amplitude of the fundamental components at f_1 or at f_2 and the amplitude of the largest intermodulation product at frequency $(pf_1 - qf_2)$ or at $(pf_2 - qf_1)$.

Ainsi, les produits d'intermodulation du troisième ordre et du cinquième ordre sont donnés par les formules suivantes, le produit d'intermodulation le plus important étant généralement le produit de troisième ordre pour lequel $p = 2$ et $q = 1$:

troisième ordre:

$$D_3 = 20 \log \frac{A_{(2f_1 - f_2)}}{A_{f_1}} \quad \text{ou} \quad D_3 = 20 \log \frac{A_{(2f_1 - f_2)}}{A_{f_2}}$$

$$D'_3 = 20 \log \frac{A_{(2f_2 - f_1)}}{A_{f_1}} \quad \text{ou} \quad D'_3 = 20 \log \frac{A_{(2f_2 - f_1)}}{A_{f_2}}$$

cinquième ordre:

$$D_5 = 20 \log \frac{A_{(3f_1 - 2f_2)}}{A_{f_1}} \quad \text{ou} \quad D_5 = 20 \log \frac{A_{(3f_1 - 2f_2)}}{A_{f_2}}$$

$$D'_5 = 20 \log \frac{A_{(3f_2 - 2f_1)}}{A_{f_1}} \quad \text{ou} \quad D'_5 = 20 \log \frac{A_{(3f_2 - 2f_1)}}{A_{f_2}}$$

Les produits d'ordre pair, tels que $f_1 + f_2$ et $f_1 - f_2$, sont généralement à l'extérieur de la bande passante des filtres de sortie de l'émetteur et, en conséquence, présentent peu d'intérêt.

Précautions

Dans les mesures sur les tubes d'émission de forte puissance, il faut prendre soin de s'assurer qu'aucun produit d'intermodulation ne prend sa source dans l'appareillage de mesure par suite d'une surcharge. Ceci peut nécessiter de blinder avec soin l'appareillage de mesure.

De plus, si l'on utilise des techniques de modulation pour produire les fréquences f_1 et f_2 , il faudra s'assurer que:

- 1) aucun produit de modulation ne prend naissance dans l'appareillage à basse fréquence ou au cours du processus de modulation;
- 2) les fréquences de modulation ne sont liées ni harmoniquement ni de façon telle qu'elles puissent produire une intermodulation ayant des fréquences si proches l'une de l'autre qu'elles ne puissent être séparées.

4.2 Conditions de mesure

4.2.1 Choix des fréquences

Les deux fréquences d'entrée devront être choisies avec soin pour que les produits d'intermodulation tombent dans des canaux libres.

Ainsi:

$$p_a f_1 - q_a f_2 \neq p_b f_2 - q_b f_1 \neq p_c f_1 - q_c f_2 \dots$$

où les indices correspondent à des sélections de divers nombres entiers réalisables.

Les fréquences préférées se trouvent entre 1 MHz et 10 MHz.

La séparation en fréquences entre f_1 et f_2 est généralement comprise entre 400 Hz et 3 000 Hz.

Pour assurer des résultats reproductibles lors de la mesure à des fréquences élevées, il est nécessaire que les dimensions physiques et électriques des composants du circuit d'essai et que les détails de la disposition et de la construction soient indiqués.

Ceci est nécessaire pour éviter l'introduction d'une réaction non voulue qui peut avoir une influence sur les produits d'intermodulation.

Hence, the third order intermodulation products and fifth order intermodulation products are given by the following formulae, the largest intermodulation product being usually the third order product where $p = 2$ and $q = 1$:

third order:

$$\begin{aligned} D_3 &= 20 \log \frac{A_{(2f_1 - f_2)}}{A_{f_1}} & \text{or } D_3 &= 20 \log \frac{A_{(2f_1 - f_2)}}{A_{f_2}} \\ D'_3 &= 20 \log \frac{A_{(2f_2 - f_1)}}{A_{f_1}} & \text{or } D'_3 &= 20 \log \frac{A_{(2f_2 - f_1)}}{A_{f_2}} \end{aligned}$$

fifth order:

$$\begin{aligned} D_5 &= 20 \log \frac{A_{(3f_1 - 2f_2)}}{A_{f_1}} & \text{or } D_5 &= 20 \log \frac{A_{(3f_1 - 2f_2)}}{A_{f_2}} \\ D'_5 &= 20 \log \frac{A_{(3f_2 - 2f_1)}}{A_{f_1}} & \text{or } D'_5 &= 20 \log \frac{A_{(3f_2 - 2f_1)}}{A_{f_2}} \end{aligned}$$

The even order products, such as $f_1 + f_2$ and $f_1 - f_2$, are usually outside the pass-band of the output filter of a transmitter and are therefore of little interest.

Precautions

In high-power transmitting tube measurements, care should be taken to ensure that no intermodulation products originate in the measuring equipment because of overloading. This may require careful shielding of the measuring apparatus.

Furthermore, if modulation techniques are used to develop the two frequencies f_1 and f_2 , care should be taken to ensure:

- 1) that no modulation products arise in the low-frequency equipment or during the process of modulation;
- 2) that the modulation frequencies are neither harmonically related nor related in such a fashion as to produce intermodulation having frequencies so near to each other that they cannot be resolved.

4.2 Conditions of measurement

4.2.1 Choice of frequencies

The two input frequencies should be chosen with care so that the intermodulation products fall in clear channels.

Thus

$$p_a f_1 - q_a f_2 \neq p_b f_1 - q_b f_2 \neq p_c f_1 - q_c f_2 \dots$$

where subscripts indicate selections of realizable integers.

The preferred frequencies lie between 1 MHz and 10 MHz.

The frequency separation of f_1 and f_2 is usually between 400 Hz and 3 000 Hz.

To ensure reproducible results when measuring at high frequencies, it is necessary that the physical and electrical dimensions of the component parts of the test circuit and details of the layout and construction are stated.

This is necessary in order to avoid the introduction of unintentional feedback which can have an influence on the intermodulation products.

Les fréquences et l'amplitude de la sortie du générateur doivent être maintenues suffisamment constantes pour donner une lecture stable sur l'analyseur de spectre.

4.2.2 *Circuit de base*

Un circuit de base recommandé est représenté à la figure 2, page 15.

Aucune contre-réaction ne doit être utilisée dans le circuit de mesure si ce n'est que l'amplificateur peut être neutrodyné si cela est nécessaire pour un fonctionnement stable.

Note. — Une réaction peut être utilisée lors du fonctionnement de l'appareillage pour compenser la non-linéarité, mais ne doit pas l'être dans les mesures de tubes.

Les sources d'alimentation du tube en mesure doivent être convenablement découplées et bien régulées.

Cela s'applique particulièrement aux sources d'alimentation de grille, qui doivent être régulées à $\pm 1\%$ sauf indication contraire. L'impédance de toutes les sources de tension doit être limitée afin que les composantes à audio-fréquences de la tension induite dans les conditions de mesure ne dépassent pas 1% de la tension de source.

Comme l'impédance d'entrée de l'amplificateur varie en fonction du niveau de l'attaque, l'impédance interne de l'étage d'attaque devra être inférieure à 10% de l'impédance d'entrée.

L'impédance de l'étage d'attaque doit être indiquée.

Tous les signaux brouilleurs à la sortie de l'étage d'attaque doivent être au moins 10 dB au-dessous de la valeur nominale du rapport d'intermodulation pour la sortie du type de tube en mesure.

Note. — On peut mesurer cela en attaquant soit un étage de sortie ne fonctionnant pas, soit une charge passive équivalente à l'impédance d'entrée du tube amplificateur.

L'analyseur de spectre qui est couplé au circuit de sortie doit être capable d'une résolution nette de tous les produits d'intermodulation lorsqu'ils sont 60 dB au-dessous de n'importe lequel des signaux fondamentaux.

5. **Mesures**

5.1 *Procédure de mesure*

On peut utiliser plusieurs techniques de mesure pour déterminer les produits d'intermodulation.

Ces techniques peuvent être fondées sur des réglages en vue d'un objectif indiqué tel que:

- a) une valeur donnée de puissance en crête de modulation;
- b) une sortie maximale dans des conditions données;
- c) un courant anodique donné;
- d) des courants anodique et d'écran donnés.

Dans chaque cas, certains paramètres doivent être réglés et d'autres maintenus fixes. Quel que soit l'objectif pour le réglage, le nombre de paramètres variables doit être maintenu au minimum et clairement indiqué.

Les valeurs des paramètres *fixes* doivent être données.

5.1.1 *Méthode A* (objectif: puissance en crête de modulation)

Pour effectuer les mesures, la séquence ci-dessous doit être suivie:

- a) Aucune contre-réaction ne doit être utilisée dans la mesure sauf si cela est nécessaire pour obtenir un fonctionnement stable.
Si un neutrodynage est nécessaire, cela doit être indiqué; tout réglage doit être fait sans courant anodique, de préférence à froid, et aucun autre réglage ne doit être fait ensuite.

The frequencies and the amplitude of the generator output shall be maintained sufficiently constant to give a steady reading on the spectrum analyser.

4.2.2 Basic circuit

A recommended basic circuit is shown in Figure 2, page 15.

No negative feedback is to be used in the measurement circuit except that the amplifier may be neutralized, if necessary, for stable operation.

Note. — Feedback may be used in equipment operation to compensate for non-linearity, but it shall not be used in tube measurements.

The power supplies to the tube being measured shall be adequately decoupled and well regulated.

This applies particularly to the grid supplies which shall be regulated to $\pm 1\%$, unless otherwise stated. The impedance of all voltage supplies shall be limited so that audio-frequency components of voltage induced under measurement conditions shall not exceed 1% of the supply voltage.

As the amplifier input impedance varies with the drive level, the internal impedance of the driving stage should be less than 10% of the input impedance.

The driver impedance shall be stated.

All unwanted signals in the output of the driver shall be at least 10 dB lower than the nominal intermodulation ratio for the output of the type of tube being measured.

Note. — This may be measured when feeding into either a non-operating output stage or a passive load equivalent to the input impedance of the amplifier tube.

The spectrum analyser, which is coupled to the output circuit, shall be capable of clear resolution of all intermodulation products when 60 dB below either fundamental signal.

5. Measurements

5.1 Measurement procedure

Several different measurement techniques can be used in determining intermodulation products.

They may be based upon adjustments for a stated objective including:

- a) stated peak envelope power (P.E.P.);
- b) maximum output under stated conditions;
- c) stated anode current;
- d) stated anode and screen currents.

In each case, certain parameters must be varied and others fixed. Whatever the chosen adjustment objective, the number of variable parameters shall be kept to a minimum and clearly enumerated.

The values of the *fixed* parameters shall be stated.

5.1.1 Method A (objective: P.E.P.)

In making measurements, the sequence below shall be followed:

- a) No negative feedback is to be used in the measurement unless required for stable operation.

If neutralization is needed, the fact shall be stated; any adjustment shall be made with no anode current flowing, preferably under cold conditions, and no further adjustment shall be made thereafter.

b) Sans attaque r.f., régler suivant les conditions indiquées.

Attendre jusqu'à ce que le courant sans signal ($I_{a(0)}$) soit stable, puis continuer.

c) Attaquer avec une seule fréquence r.f.

En maintenant le courant de grille-écran à l'intérieur de la gamme prescrite, ajuster simultanément le niveau d'attaque et les paramètres variables (accord et couplage à la sortie, etc.). Ensuite, ces réglages seront maintenus inchangés.

d) Réduire de 6 dB l'entrée à une seule fréquence et commuter sur le signal à deux fréquences.

En maintenant les signaux d'entrée à des amplitudes égales, régler le niveau d'attaque pour obtenir les mêmes valeurs de puissance en crête de modulation que ci-dessus.

Sur l'analyseur de spectre, mesurer le rapport d'intermodulation, en repérant l'ordre si nécessaire.

e) Observer le rapport d'intermodulation pendant que l'on fait varier le niveau d'attaque. Mesurer le rapport d'intermodulation au plus haut niveau du produit d'intermodulation. Mesurer et indiquer les conditions de fonctionnement du tube, y compris l'impédance de charge et le facteur de qualité du circuit de sortie du tube.

Note. — La puissance de sortie peut être mesurée par la méthode calorimétrique ou par la méthode de mesure de tension aux bornes d'une résistance.

Par la méthode calorimétrique, on peut calculer la puissance en crête de modulation (lorsque les produits d'intermodulation sont au moins 26 dB au-dessous) par :

$$\begin{aligned} \text{(entrée à deux fréquences) puissance en crête} &= \text{puissance moyenne} \times 2 \\ \text{(entrée à une seule fréquence) puissance en crête} &= \text{puissance moyenne} \end{aligned}$$

Par la méthode de mesure de tension aux bornes d'une résistance, la puissance en crête de modulation peut être calculée par :

$$\begin{aligned} \text{(entrée à deux fréquences) puissance en crête} &= \frac{2 (E_{\text{eff}})^2}{R_L} \\ \text{(entrée à une seule fréquence) puissance en crête} &= \frac{E_{\text{eff}}^2}{R_L} \end{aligned}$$

où R_L est la résistance de charge

5.1.2 Méthode B (objectif: sortie maximale dans des conditions données)

A l'étude.

5.1.3 Méthode C (objectif: courant anodique donné)

A l'étude.

5.1.4 Méthode D (objectif: courants anodique et d'écran donnés)

A l'étude.