

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60235-2C**

Première édition  
First edition  
1976-01

---

---

**Troisième complément à la Publication 60235-2 (1972)**

**Mesure des caractéristiques électriques  
des tubes pour hyperfréquences**

**Deuxième partie:  
Mesures générales**

**Third supplement to Publication 60235-2 (1972)**

**Measurement of the electrical properties  
of microwave tubes**

**Part 2:  
General measurements**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60235-2C: 1976

## 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.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60235-2C**

Première édition  
First edition  
1976-01

---

---

**Troisième complément à la Publication 60235-2 (1972)**

**Mesure des caractéristiques électriques  
des tubes pour hyperfréquences**

**Deuxième partie:  
Mesures générales**

**Third supplement to Publication 60235-2 (1972)**

**Measurement of the electrical properties  
of microwave tubes**

**Part 2:  
General measurements**

© IEC 1976 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](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**P**

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

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Chapitres	
I. Conditions générales et précautions . . . . .	8
IV. Mesures générales pour les tubes amplificateurs . . . . .	22
FIGURES . . . . .	28

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-2C:1976

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Chapter	
I. General requirements and precautions . . . . .	9
IV. General measurements for amplifier tubes . . . . .	23
FIGURES . . . . .	28

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-2C:1976

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Troisième complément à la Publication 235-2 (1972)

MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES  
DES TUBES POUR HYPERFRÉQUENCES

Deuxième partie : Mesures générales

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 publication a été établie par le Comité d'Etudes n° 39 de la CEI: Tubes électroniques, et le Sous-Comité 39A: Tubes pour hyperfréquences.

Elle constitue le troisième complément à la Publication 235-2 de la CEI.

Elle traite des sujets suivants:

- Chapitre I: Conditions générales et précautions.  
Article 4: Dangers de radiations, avec un paragraphe complémentaire 4.1.A: Mesures des fuites en hyperfréquences provenant de tubes électroniques à circuit incorporé.
- Chapitre IV: Mesures générales pour les tubes amplificateurs.  
Paragraphe 16.3: Puissance de sortie aux fréquences harmoniques, avec un texte modifié: Mesure des puissances de sortie harmonique et parasite.

*Chapitre I, article 4*

Lors de la réunion tenue à Washington en mai 1970, il fut décidé à la suggestion du Président du Comité d'Etudes n° 39, que le Comité national des Etats-Unis d'Amérique préparerait un projet concernant les méthodes de mesure des fuites non ionisantes en hyperfréquences provenant de tubes électroniques à circuit incorporé. Ce travail, entrepris par le Sous-Comité 39A, fut diffusé en février 1971 comme projet commun aux deux Comités.

A la suite de la réunion tenue à Paris en novembre 1971, le projet révisé, document 39(Bureau Central)263, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1973.

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

Allemagne	Italie
Argentine	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques
Israël	Socialistes Soviétiques

Cette publication ne contient pas d'indication concernant les niveaux de rayonnement considérés comme dangereux ni les conditions de fonctionnement, qui seront déterminés par les réglementations nationales.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

Third supplement to Publication 235-2 (1972)

MEASUREMENT OF THE ELECTRICAL PROPERTIES  
OF MICROWAVE TUBES

Part 2: General 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 IEC recommendation for their national rules in so far as 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 publication has been prepared by IEC Technical Committee No. 39, Electronic Tubes, and Sub-Committee 39A, Microwave Tubes.

It forms the third supplement to IEC Publication 235-2.

It covers the following subjects:

- Chapter I, General requirements and precautions.  
Clause 4, Radiation dangers, with an additional Sub-clause 4.1.A, Measurements of microwave leakage from integral circuit electronic tubes.
- Chapter IV, General measurements for amplifier tubes.  
Sub-clause 16.3, Harmonic output power, with an amended text, Measurement of harmonic and spurious output power.

*Chapter I, Clause 4*

During the meeting held in Washington in May 1970, it was agreed that the United States National Committee at the invitation of the Chairman of Technical Committee No. 39 would prepare a draft proposal on measuring methods of non-ionizing microwave leakage from electronic tubes in integral circuits. This work, begun in Sub-Committee 39A, was circulated in February 1971 as a joint draft of both committees.

As a result of the meeting held in Paris in November 1971, the amended draft, Document 39(Central Office)263, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Argentina  
Australia  
Belgium  
Canada  
Czechoslovakia  
Finland  
France  
Germany  
Israel

Italy  
Japan  
Netherlands  
Switzerland  
Turkey  
Union of Soviet  
Socialist Republics  
United Kingdom  
United States of America

This publication does not contain statements concerning levels of radiation considered to be hazardous, nor to operating conditions, as these will be determined by national regulations.

*Chapitre IV, paragraphe 16.3*

L'initiative concernant le sujet de ce paragraphe fut prise par la délégation française lors de la réunion du Sous-Comité 39A à Varsovie en juin 1969. Il fut alors décidé que le Comité national des Etats-Unis d'Amérique préparerait une proposition concernant les aspects généraux des mesures de puissance de sortie harmonique des tubes amplificateurs pour hyperfréquences.

Un projet fut ensuite discuté à la réunion tenue à Paris en novembre 1971. A la suite de cette réunion, le projet, document 39(Bureau Central)254, fut soumis à l'approbation des Comités Nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1973.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-2C:1976



*Chapter IV, Sub-clause 16.3*

The initiative with respect to the subject of this sub-clause was taken by the French delegation during the meeting of Sub-Committee 39A in Warsaw in June 1969. It was then decided that the United States National Committee would prepare a proposal on the general aspects of measurements of harmonic output power from microwave amplifier tubes.

Following this, a draft was discussed at the meeting held in Paris in November 1971. As a result of this meeting, the draft, Document 39(Central Office)254, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium  
Canada  
Czechoslovakia  
Finland  
France  
Germany  
Israel  
Italy

Japan  
Korea (Republic of)  
Netherlands  
Switzerland  
Turkey  
Union of Soviet  
Socialist Republics  
United States of America

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-2C:1976

Troisième complément à la Publication 235-2 (1972)

MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES  
DES TUBES POUR HYPERFRÉQUENCES

Deuxième partie: Mesures générales

CHAPITRE I: CONDITIONS GÉNÉRALES ET PRÉCAUTIONS

Page 10

4.1 Rayonnement radiofréquence

Après ce paragraphe, ajouter le texte suivant:

4.1.A Mesures des fuites en hyperfréquences provenant de tubes électroniques à circuit incorporé

Ce paragraphe décrit les méthodes de mesure des fuites hyperfréquences provenant de tubes électroniques à circuits hyperfréquences incorporés. De telles fuites peuvent se produire soit à des connecteurs mal isolés en radiofréquences soit à des bornes d'entrée considérées ordinairement comme ne faisant pas partie du circuit hyperfréquences. Elles peuvent aussi se produire du fait d'un blindage inadéquat ou de parties amovibles de capots de blindage, etc.

Ce paragraphe comprend de plus une liste des caractéristiques des appareils de mesure à spécifier de façon correcte si l'on veut que les mesures soient exactes. Une méthode d'étalonnage de l'appareil de mesure est incluse.

*Note.* — Cette description des méthodes de mesure a été estimée nécessaire car les appareils de mesure anciens contribuent à introduire une distorsion importante du champ de fuite et entraînent d'importantes erreurs de mesure. Le problème a pris de l'importance car de nombreux tubes pour hyperfréquences fonctionnent avec les anodes à la terre et permettent l'accès direct du personnel exploitant à des zones où les fuites hyperfréquences peuvent être dangereuses.

4.1.A.1 Définitions

4.1.A.1.1 Enveloppe (voir des exemples aux figures 1a, 1b, page 28, et 1c, page 29)

Surface accessible d'un tube électronique incluant des portions définies des circuits de connexion en hyperfréquences, ou surface arbitraire mais définie, utilisée comme référence dans les mesures.

*Note.* — L'enveloppe peut, soit faire partie de tout blindage haute tension ou contre le rayonnement X recommandé par le fabricant, soit contenir un tel blindage. Quand l'enveloppe ne fait pas partie du tube ou du blindage haute tension ou contre le rayonnement X, elle doit être constituée d'un matériel transparent aux ondes électromagnétiques.

4.1.A.1.2 Ouverture effective

Aire effective à travers laquelle le flux de puissance est couplé au capteur (l'élément sensible) de l'appareil de mesure de la densité de flux de puissance.

4.1.A.1.3 Distance de proximité

Dans le champ lointain d'une source d'étalonnage, distance centre à centre entre deux capteurs (situés à égale distance de la source) à laquelle la lecture donnée par un appareil de mesure varie de  $\pm 2$  dB par rapport à la lecture obtenue en l'absence de l'autre appareil.

*Note.* — C'est une mesure approximative de la plus grande dimension de l'ouverture effective.

4.1.A.1.4 Dispositif d'écartement

Adaptateur qui maintient une distance constante entre le capteur et la surface de l'enveloppe à mesurer.

Third supplement to Publication 235-2 (1972)

MEASUREMENT OF THE ELECTRICAL PROPERTIES  
OF MICROWAVE TUBES

Part 2: General measurements

CHAPTER I: GENERAL REQUIREMENTS AND PRECAUTIONS

Page 11

4.1 *R.F. radiation*

*After this sub-clause, add the following text:*

4.1.A *Measurements of microwave leakage from integral circuit electronic tubes*

This sub-clause describes methods of measurement of microwave leakage from electronic tubes having fully enclosed microwave circuits. Such leakage may occur at leaky r.f. connectors or at input terminals not normally considered to be part of the microwave circuit. It can also arise because of leakage from inadequate screening or movable parts of the screening covers, etc.

In addition, this sub-clause includes a list of instrument characteristics which must be properly specified if measurements are to be accurate. A method of calibration of the instrument is included.

*Note.* — The description of these measurement methods has been found necessary since earlier measuring instruments contribute to serious distortion of the leakage field and produce serious errors of measurement. The problem has become important because many microwave tubes operate with grounded anodes and allow direct access by operating personnel to these regions where microwave leakage may be hazardous.

4.1.A.1 *Definitions*

4.1.A.1.1 *Enclosure (for examples, see Figures 1a, 1b, page 28, and 1c, page 29)*

The accessible outer surface of the electronic tube including stated parts of the microwave connecting circuits or an arbitrary but stated surface used for reference in the measurement.

*Note.* — The enclosure may be part of or enclose any high-voltage or X-radiation shielding recommended for use by the tube manufacturer. When the enclosure is not a part of the tube or of the X-ray or high-voltage shielding, it should be made from electromagnetically transparent material.

4.1.A.1.2 *Effective aperture*

The effective area through which the power flux couples to the sensor (sensing element) of the power-flux density meter.

4.1.A.1.3 *Proximity distance*

In a far field of a calibration source, the centre-to-centre distance between two sensors (equally distant from the source) at which the reading of one instrument is changed by  $\pm 2$  dB from its indication in the absence of the other instrument.

*Note.* — This is an approximate measure of the major dimension of the effective aperture.

4.1.A.1.4 *Spacer tip*

An adaptor which ensures a constant distance between the sensor and the surface of the enclosure to be measured.

#### 4.1.A.2 Théorie

Les fuites en hyperfréquences d'un tube à circuit incorporé sont fonction de la correction de l'isolement en hyperfréquences des connexions d'électrodes du tube, de la correction de la fermeture des circuits en hyperfréquences eux-mêmes et de l'intégrité des connecteurs en hyperfréquences associés avec les circuits d'entrée et de sortie. Lorsque le tube fonctionne avec l'anode à la terre afin d'obtenir une réduction importante des dangers dus à la haute tension, l'utilisateur peut en approcher suffisamment pour être soumis aux risques provoqués par la puissance en hyperfréquences fuyant du tube ou du système. On présente donc ici les moyens de mesure de telles fuites de la puissance des tubes à circuits incorporés. Les tubes électroniques dont les circuits ne sont pas contenus en totalité à l'intérieur de l'enveloppe à vide (par exemple triodes à électrodes planes, klystrons à cavité externe et magnétrons coaxiaux à cavité externe) peuvent être mesurés selon ces méthodes, excepté que l'enveloppe répondant à la définition donnée ci-dessus devra comporter les circuits externes et les connexions à la région d'interaction.

Dans le cas de tubes plus classiques, quand le circuit est séparé du tube, il devient impossible de mesurer ces champs associés au tube seul; ici le problème des fuites de rayonnement devient en réalité, un problème de conception de l'équipement.

Des oscillations indésirables peuvent donner lieu à des fuites particulièrement importantes. Pour cette raison, la mesure des fuites doit s'effectuer dans une large bande de fréquences.

La mesure de la densité de puissance de fuites en hyperfréquences ne peut être effectuée avec précision que si l'on prend en considération :

1. les caractéristiques de la source;
2. l'effet de la présence de l'appareil de mesure sur l'impédance de source;
3. la perturbation apportée par l'appareil de mesure au champ de fuite, en dehors des effets précédents;
4. la sensibilité relative du capteur aux diverses composantes du rayonnement de fuite de la source.

Bien que la source des fuites ne soit généralement pas une source simple, on peut, en général, la représenter soit par une source linéaire, soit par une source ponctuelle, soit par un ensemble de tels éléments. Par référence aux champs produits par un court doublet, on peut montrer qu'il y a deux régions d'intérêt significatif. La région généralement importante est appelée «champ éloigné»; dans cette région, le champ existe sous forme d'ondes planes. Près du doublet se trouvent des champs  $E$  additionnels, généralement considérés importants à moins de  $\frac{\lambda}{2}$  du doublet; ils sont en quadrature avec le champ  $E$  principal et deviennent très importants près du doublet. Cette région est appelée «région de champ réactif» car la composante la plus importante du champ dans cette région n'est pas en phase avec le champ rayonné.

Lorsque la source de fuites est plus complexe et ne peut être représentée par un simple doublet, une troisième région importante est souvent citée, à savoir «la région de Fresnel». Le terme «région de champ rapproché» est évité dans cette norme car il est souvent utilisé à tort, à la fois pour la région de Fresnel et pour la région de champ réactif sans distinction. La position de la frontière extérieure de cette région est fonction de l'ouverture de la source et est généralement donnée par :

$$R_s = \frac{2D_s^2}{\lambda}$$

où :

$R_s$  = distance de la source

$\lambda$  = longueur d'onde du rayonnement

$D_s$  = dimension principale de l'ouverture de source.

Lorsque l'appareil indicateur est placé près d'une telle source de fuites, il peut réfléchir de la puissance dans la source dans une mesure déterminée grossièrement par l'angle solide sous-tendu par l'appareil à la source.

Une telle puissance réfléchie perturbe l'impédance de source de telle façon qu'elle augmente ou diminue la puissance rayonnée par la source, selon les relations de phase.

Ces effets sont estimés négligeables lorsque la distance entre source et appareil est supérieure à  $R_i$  selon la relation

$$R_i = \frac{2D_i^2}{\lambda}$$

où :

$D_i$  = dimension principale de l'ouverture de l'appareil ou distance de proximité si la première n'est pas connue.

#### 4.1.A.2 Theory

Microwave leakage from integral circuit electronic tubes is a function of the adequacy of the microwave isolation of tube electrode terminals, the adequacy of closure of the microwave circuits themselves and the perfection of the microwave connectors associated with input and output circuits. When the tube is operated with grounded anode to obtain the consequent reduction in high-voltage hazard, the user may now come in such proximity to the tube as to encounter hazard from microwave power leaking from the tube or system. Thus, means for measurement of such leakage power are hereby presented for integral circuit tubes. Electronic tubes whose circuits are not integrally contained within the vacuum envelope (viz. planar triodes, external cavity klystrons and coaxial magnetrons with external cavities) may be measured in accordance with these methods except that the enclosure as defined above shall include the external circuits and the connections to the interaction region.

In the case of more conventional tubes, when the circuit is separate from the tube, it becomes impossible to measure those fields associated with the tube alone; here, the radiation leakage problem is really one of equipment design.

Spurious oscillations may give rise to especially high leakage. For this reason, the measurement of the leakage should be performed in a broad frequency range.

The measurement of microwave leakage power density can be accomplished with accuracy only if proper consideration is given to:

1. the characteristics of the source;
2. the effect of the presence of the instrument on the source impedance;
3. the perturbation that the instrument introduces to the leakage field, separate from the foregoing effects;
4. the relative sensitivity of the sensor to the various components of the leakage radiation from the source.

While the source of leakage is not generally a single simple source, it can usually be represented by either a line or a point source or by an array of such elements. By reference to the fields emanating from a short dipole, it can be shown that there are two regions of significant interest. The usually important region is called the "far field", in which the field exists in essentially plane waves. Near the dipole are additional  $E$  fields, usually considered important within  $\frac{\lambda}{2}$  of the dipole, which are in time quadrature with the principal  $E$  field and become very large close to the dipole. This region is called the "reactive field region" since the largest field component of the region is out of phase with the radiating field.

When the leakage source is more complex than may be represented by a simple dipole, a third region of significance is often discussed, called "the Fresnel region". The term "near-field region" is avoided in this standard as it is often applied erroneously to both the Fresnel and reactive regions without distinction. The position of the outer boundary of this region is a function of the aperture of the source and is generally given by:

$$R_s = \frac{2D_s^2}{\lambda}$$

where:

$R_s$  = distance to source

$\lambda$  = wavelength of the radiation

$D_s$  = major dimension of the source aperture.

When the measuring instrument is placed close to such a leakage source, it may reflect power back into the source to an extent roughly determined by the solid angle that the instrument subtends at the source.

Such reflected power perturbs the source impedance in such a way as to increase or decrease the power radiated from the source, depending on phase relationships.

These effects have been found to be negligible when the instrument-to-source distance is greater than  $R_i$  in the relation:

$$R_i = \frac{2D_i^2}{\lambda}$$

where:

$D_i$  = major dimension of the instrument aperture or the proximity distance if the former is not known.

L'appareil ne perturbera pas le champ dans lequel il est placé lorsqu'il est utilisé à des distances de la source supérieures à  $R_1$ , si son impédance est de l'ordre de l'impédance d'onde.

En réalité, cela nécessite que les doublets du détecteur, si on les utilise, soient plus courts que  $\frac{\lambda}{3}$  approximativement et soient de faibles diamètres.

Un avantage secondaire des doublets de cette longueur est que la courbure des champs n'introduira pas d'erreur.

Par contre, l'utilisation de doublets extrêmement courts, ou d'autres moyens pour obtenir une forte impédance du capteur, peut introduire des erreurs dans la région de champ réactif. Toutefois, dans ce cas, l'erreur conduit à une indication toujours supérieure à la valeur réelle.

En vue des difficultés mentionnées ci-dessus, l'étalonnage de l'appareil de mesure est effectué au mieux dans le champ éloigné, même si cet appareil peut effectivement être utilisé dans la région de champ réactif. En conséquence, l'appareil de mesure, quelle que soit la nature détaillée de ses capteurs, sera étalonné en unités de densité de puissance, ordinairement en milliwatts par centimètre carré (mW/cm<sup>2</sup>).

#### 4.1.A.3 Spécifications de l'appareil de mesure

Etant donné que les niveaux jugés dangereux doivent être indiqués dans d'autres publications, les spécifications des appareils de mesure en seront dérivées.

Bien qu'il puisse être souhaitable de spécifier l'impédance du capteur ainsi que cela a été décrit ci-dessus, une spécification absolument rigoureuse ne peut être établie actuellement car les connaissances à ce sujet sont insuffisantes.

Les spécifications pratiques et significatives devraient comprendre au moins les paramètres suivants:

##### 4.1.A.3.1 Dimension maximale de l'ouverture, en centimètres

##### 4.1.A.3.2 Ouverture effective, en centimètres carrés, ou distance de proximité, en centimètres

*Note.* — Lorsqu'il est possible de vérifier l'ouverture effective par étalonnage, cela doit être spécifié. Lorsque l'ouverture effective ne peut être vérifiée, la distance de proximité, qui ne lui est pas rigoureusement liée mais qui donne au moins approximativement son ordre de grandeur, doit être donnée.

##### 4.1.A.3.3 Linéarité

##### 4.1.A.3.4 Plage de mesure, exprimée en milliwatts par centimètre carré

*Note.* — Pour prévenir sa destruction accidentelle, l'appareil de mesure doit être susceptible, à l'aide de commutateurs ou d'autres moyens étalonnés, de supporter une densité de fuite pouvant atteindre plusieurs fois le niveau imposé, et de mesurer environ 10% de ce niveau avec la précision indiquée ci-dessous.

##### 4.1.A.3.5 Réponse en fréquence

*Note.* — L'appareil de mesure doit être étalonné précisément pour l'utilisation à la fréquence à laquelle on soupçonne une fuite, ou doit avoir des caractéristiques d'étalonnage connues en fonction de la fréquence afin que les valeurs observées puissent être ramenées à des unités définies de mesure. Le dispositif d'écartement ne doit pas modifier l'étalonnage de plus d'un quart de décibel, ou doit être fixé en permanence au capteur.

##### 4.1.A.3.6 Erreur lorsque l'appareil de mesure est tenu à la main

##### 4.1.A.3.7 Précision (exprimée en décibels)

*Note.* — Pour toutes les lectures comprises entre 25% de la déviation totale et cette déviation totale, l'erreur doit être inférieure aux valeurs fixées (généralement 0,5 dB).

##### 4.1.A.3.8 Erreur provenant des captages parasites radioélectriques

##### 4.1.A.3.9 Temps de réponse

*Note.* — Pour la recherche des zones de fuites importantes, le temps de réponse propre du capteur doit être suffisamment long (par exemple une demi-seconde) afin d'établir convenablement la moyenne des formes d'ondes semi-impulsionnelles.

De plus, un commutateur doit permettre l'utilisation d'un temps de réponse plus long (généralement 3 s) afin d'effectuer des mesures moyennes.



When the instrument is used at distances from the source greater than  $R_1$ , it will not perturb the field in which it is placed if its impedance is of the order of the wave impedance.

In effect, this requires that if detector dipoles are used, these should be shorter than approximately  $\frac{\lambda}{3}$  and of small diameter.

A secondary benefit of dipoles of this length is that curvature of the fields will not introduce an error.

On the other hand, the use of excessively short dipoles or other means of achieving high sensor impedance may introduce errors in the reactive region. However, in this case, the error results in an indication which is always higher than the actual value.

In view of the foregoing difficulties, calibration of the measuring instrument is carried out best in the far field even though the instrument may actually be used in the reactive field region. As a consequence, the measuring instrument, regardless of the detailed nature of its sensors, will be calibrated in units of power density, usually in milliwatts per square centimetre (mW/cm<sup>2</sup>).

#### 4.1.A.3 *Specifications of the measuring instrument*

Since levels which constitute a hazard will be established in other publications, instrumentation specifications shall be derived from those requirements.

While it might be desirable to specify sensor impedance as described above, not enough is known about this subject to do so. A fully rigorous specification cannot be prepared at this time.

Practical and significant specifications should at least include the following parameters:

##### 4.1.A.3.1 *Maximum dimension of the aperture, in centimetres*

##### 4.1.A.3.2 *Effective aperture, in square centimetres, or proximity distance, in centimetres*

*Note.* — Where it is possible to verify the effective aperture by calibration, it should be specified. When the effective aperture cannot be verified, the proximity distance, which is not rigorously related to the effective aperture but at least approximately establishes its magnitude, should be given.

##### 4.1.A.3.3 *Linearity*

##### 4.1.A.3.4 *Measurement range, expressed in milliwatts per square centimetre*

*Note.* — To avoid its accidental destruction, the measuring instrument must be able, by the use of switches or other calibrated means, to withstand leakage density several times the statutory level and to measure down to about 10% of that level, with an accuracy as described below.

##### 4.1.A.3.5 *Frequency response*

*Note.* — The measuring instrument shall be specifically calibrated for use at the frequency at which leakage is suspected or shall have known calibration characteristics versus frequency so that observed values may be standardized to defined units of measurement. The spacer tip shall not change the calibration by more than one-fourth decibel or the spacer tip should be permanently fixed to the sensor.

##### 4.1.A.3.6 *Error when the measuring instrument is held by hand*

##### 4.1.A.3.7 *Accuracy (expressed in decibels)*

*Note.* — For all readings from 25% of full scale indication to full scale indication, the error should be less than the stated values (usually 0.5 dB).

##### 4.1.A.3.8 *Error caused by stray r.f. pick-up*

##### 4.1.A.3.9 *Response time*

*Note.* — To search for zones of high leakage, the inherent response time of the sensor shall be sufficiently long (e.g. one-half second) so that it will average semi-pulse waveforms appropriately.

In addition, a longer response time (usually 3 s) may be available in the instrument by switch for use in making averaged measurements.

#### 4.1.A.3.10 Caractéristiques directionnelles

#### 4.1.A.4 Etalonnage des appareils de mesure

##### 4.1.A.4.1 Source d'étalonnage

###### 4.1.A.4.1.1 Système unipolaire

L'appareil de mesure doit être étalonné dans un champ connu où il y ait peu de risques de perturbations par introduction de l'appareil ou de l'observateur. Afin d'assurer l'exactitude de l'étalonnage, le champ de la source est, de préférence, non perturbé par des réflexions provenant d'installations fixes.

Une source de rayonnement que l'on a trouvée idéalement adaptée à cette procédure d'étalonnage est une antenne unipolaire  $\frac{\lambda}{4}$  traversant une plaque de terre métallique suffisamment grande ( $3\lambda$  à  $5\lambda \times 3\lambda$  à  $5\lambda$ ).

L'antenne unipolaire est, de préférence, située dans un espace ne comprenant aucune structure sur une distance de  $100\lambda$  dans n'importe quelle direction. L'antenne unipolaire est alimentée par une ligne coaxiale convenable arrivant au-dessous de la plaque de terre.

Le diamètre et la longueur de l'antenne unipolaire doivent être réglés de façon telle que l'antenne résonne et soit adaptée à la fréquence considérée. La puissance alimentant l'élément rayonnant est mesurée par un coupleur directionnel et un appareil de mesure de puissance.

Le système d'étalonnage est indiqué sous forme de schéma fonctionnel à la figure 2, page 30. La source de puissance doit assurer la possibilité de faire varier le niveau de sortie afin de permettre une mesure de linéarité. La fréquence doit être variable si la précision de l'étalonnage est à déterminer sur une bande de fréquences définie.

Il est souvent pratique d'incorporer une monture d'appareil à cardans faite en mousse de polystyrène ou en un autre matériau non métallique de faible constante diélectrique pour fixer le capteur. La conception doit permettre de déplacer le capteur sur un angle d'élévation de  $180^\circ$  dans deux axes orthogonaux, tout en maintenant la distance source capteur constante.

*Note.* — L'utilisation d'un cornet étalonné est une variante convenable.

###### 4.1.A.4.2 Etalonnage de la distance de proximité

Le capteur à étalonner doit être placé à une distance donnée de l'antenne unipolaire, supérieure à  $\lambda$  et inférieure à la dimension minimale du plan de masse.

Les connexions entre le capteur et l'indicateur doivent être placées du côté situé directement à l'opposé du radiateur unipolaire afin de réduire au minimum la perturbation du champ par l'appareil de mesure et ses fils.

Le capteur doit être orienté pour obtenir la lecture maximale de puissance.

###### 4.1.A.4.2.1 Méthode à deux appareils de mesure

On règle la puissance d'entrée de l'antenne unipolaire pour obtenir approximativement une indication aux trois quarts de la déviation totale de l'indicateur lorsque les cardans sont réglés pour tenir le capteur à environ  $30^\circ$  d'élévation au-dessus de la plaque de terre. Un deuxième capteur identique et identiquement orienté est approché du premier par chacun des côtés ainsi que par-dessus et par-dessous, tout en maintenant la même distance. On continue d'approcher jusqu'à ce que les deux appareils de mesure soient en contact ou que l'indication du premier soit modifiée de 2 dB.

La séparation entre les capteurs, lorsque cette condition est remplie, est mesurée dans chaque quadrant. La plus grande des valeurs ainsi obtenues, sous forme d'écart entre les centres des deux capteurs, est la distance de proximité.

*Note.* — En se référant à la définition du paragraphe 4.1.A.1.3, il faut noter ici que lorsqu'il y a plus d'une distance à laquelle les variations de  $\pm 2$  dB se produisent, c'est la plus grande de ces distances qui est retenue.



#### 4.1.A.3.10 Directional characteristics

#### 4.1.A.4 Calibration of the instruments

##### 4.1.A.4.1 The calibration source

###### 4.1.A.4.1.1 The monopole system

The measuring instrument should be calibrated in a known field where there is little likelihood of perturbation by introduction of the instrument or of the observer. To ensure the validity of the calibration, the field from the source is preferably unperturbed by reflections from fixed installations.

A radiation source which has been found to be ideally suited to this calibration procedure is a  $\frac{\lambda}{4}$  monopole which peers through an extensive metallic ground plane ( $3\lambda$  to  $5\lambda \times 3\lambda$  to  $5\lambda$ ). The monopole is preferably located in a space which includes no structures for a distance of  $100\lambda$  in any direction. The monopole should be fed from a suitable coaxial line from the underside of the ground plane.

The diameter and length of the monopole should be adjusted so that the monopole is resonant and matched at the frequency of interest. The power into the radiating element is measured by means of a directional coupler and a power meter.

The calibration system is shown in block diagram form in Figure 2, page 30. The power source must include some provision for variations in output level so as to permit measurement of linearity. Frequency should be variable if accuracy of calibration is to be determined over a stated frequency band.

It is often convenient to include a gimbal mount or clamp made from polystyrene foam or other suited non-metallic material of low dielectric constant to fix the sensor. The design should permit the sensor to be moved through  $180^\circ$  of elevation angle on two orthogonal axes, while maintaining source-sensor range constant.

*Note.* — Use of a calibrated horn is a suitable alternative.

##### 4.1.A.4.2 Calibration of proximity distance

The sensor to be calibrated should be placed at a stated distance from the monopole greater than  $\lambda$  and less than the minimum dimension of the ground plane.

Connections from the sensor to the indicator should be positioned to lead straight away from the monopole radiator so as to minimize field perturbation by the measuring instrument and its leads.

The sensor should be oriented for maximum power reading.

###### 4.1.A.4.2.1 Two-meter system

Power input to the monopole is adjusted to provide approximately a three-fourth full scale indication on the meter when the gimbals are adjusted to hold the sensor at about  $30^\circ$  elevation above the ground plane. A second identical and identically oriented sensor is made to approach the first from either side and above and below, while maintaining the same distance. The approach should continue until either the two sensors are in contact or the indication of the first measuring instrument has changed by 2 dB.

The separation between the sensors, when this condition is achieved, should be measured in each quadrant. The largest value so obtained, in terms of the centre spacing between the two sensors, is the proximity distance.

*Note.* — In reference to the definition in Sub-clause 4.1.A.1.3, it is to be noted that when there is more than one distance at which the  $\pm 2$  dB change occurs, the greatest distance is the proximity distance.

#### 4.1.A.4.2.2 Méthode à un seul appareil de mesure

Le champ, au-dessus de la plaque de terre, d'une antenne unipolaire résonnante étant très sensiblement constant (par rapport à 2 dB) dans les 30 premiers degrés de l'angle d'élévation, la plaque de terre peut être utilisée comme miroir pour déterminer la distance de proximité.

Dans ce cas, on approche le capteur de la plaque de terre selon une surface sphérique tout en maintenant une orientation fixe du capteur vers le centre de cette sphère jusqu'à ce que la variation de 2 dB soit notée.

Toutes les orientations possibles du capteur par rapport à la plaque de terre sont mesurées après une variation de 2 dB quelle que soit la variation initiale de sensibilité.

La distance de proximité est deux fois la plus grande des valeurs mesurées entre l'axe du capteur et la plaque de terre.

#### 4.1.A.4.3 Linéarité

L'appareil de mesure étant maintenu comme indiqué au paragraphe 4.1.A.4.2, on augmente lentement la puissance d'entrée à l'antenne afin de noter la densité de puissance indiquée à plusieurs valeurs définies de la puissance rayonnée. Des excursions dans les deux sens de la plage de puissance doivent être répétées jusqu'à ce qu'il soit évident que la valeur de densité de puissance indiquée qui correspond à chaque niveau défini de puissance soit exempte d'erreurs provenant de l'indicateur (retard, hystérésis, etc.) et qu'une valeur précise de densité de puissance a été obtenue à chaque niveau de puissance défini.

Les informations sont alors reportées avec des coordonnées convenables de façon telle que le graphique résultant soit une ligne droite si les informations sont rigoureusement linéaires. Deux courbes doivent être tracées :

- a) l'une consistant en une série de segments de droite allant de chaque point au point voisin ;
- b) l'autre la ligne droite la mieux adaptée.

La déviation maximale entre ces courbes doit être dans les limites de linéarité.

#### 4.1.A.4.4 Etalonnage en sensibilité (voir la note 1 du paragraphe 4.1.A.5)

L'appareil de mesure étant monté comme indiqué au paragraphe 4.1.A.4.2, le capteur orienté pour recueillir la puissance maximale et l'angle d'élévation réglé de façon que l'axe de l'appareil de mesure soit à une distance de proximité au-dessus de la plaque de terre, la portée du capteur est réglée à une valeur donnée entre  $\lambda$  et  $3\lambda$ . On règle la fréquence au milieu de la bande et la puissance d'entrée pour une déviation totale de l'indicateur, ces deux paramètres sont ensuite maintenus constants. On fait varier l'angle d'élévation par rapport à l'axe de l'antenne en lui donnant plusieurs valeurs définies (généralement  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $-60^\circ$ ,  $-75^\circ$ ) et l'on enregistre les indications correspondantes de l'appareil de mesure. On répète ensuite l'opération, l'instrument de mesure étant placé successivement selon les axes orthogonaux des angles d'élévation cités plus haut.

Ainsi, pour chaque angle d'élévation au-dessus de la plaque de terre, quatre points d'information ont été obtenus. On fait la moyenne de ces quatre valeurs et on effectue la correction de linéarité en utilisant la courbe réelle d'étalonnage a) du paragraphe 4.1.A.4.3. Les valeurs corrigées sont utilisées pour intégrer arithmétiquement la densité de puissance sur l'aire de l'hémisphère définie. La valeur de puissance obtenue par cette intégration,  $P_c$ , est liée au facteur de correction de l'appareil de mesure par  $K$ ,

$$K = P_{\text{rayonnée}} / P_c$$

Ainsi, la densité réelle de puissance devient la densité indiquée multipliée par ce facteur.

#### 4.1.A.4.5 Etalonnage à diverses fréquences (voir la note 1 du paragraphe 4.1.A.5)

Les étapes du paragraphe 4.1.A.4.4 doivent être répétées entièrement pour des fréquences situées aux deux extrémités de toute bande sur laquelle l'étalonnage doit être effectué.

#### 4.1.A.4.6 Erreur d'étalonnage lorsque l'appareil de mesure est tenu à la main

L'appareil de mesure étant placé à une position fixe dans un champ éloigné constant d'amplitude telle qu'il produise approximativement une déviation totale de l'indicateur, la différence entre les indications obtenues, lorsque :

- a) il est maintenu de façon normale (à la main ou autrement), et
  - b) il est placé sur une plaque suffisamment grande de mousse de polyéthylène,
- doit être inférieure à 1 dB.

#### 4.1.A.4.2.2 *One-meter system*

Since the field above a ground plane from a resonant monopole is very nearly constant (relative to 2 dB) in the first 30° of elevation angle, the ground plane can be used as a mirror to determine proximity distance.

In this situation, the sensor is caused to approach the ground plane along a spherical surface while maintaining a fixed sensor orientation to the centre of this sphere until the 2 dB change in reading is noted.

All possible orientations of the sensor relative to the ground plane shall be measured after a 2 dB change regardless of the initial change in sensitivity.

The proximity distance shall be twice the largest measured value from the centre line of the sensor to the ground plane.

#### 4.1.A.4.3 *Linearity*

With the measuring instrument held as in Sub-clause 4.1.A.4.2, slowly increase the input power to the antenna so as to note indicated power density at several stated values of radiated power. Excursions through the power range should be repeated in ascending and descending power until it is clear that the indicated power density value which corresponds to each stated level of power is free from errors caused by meter problems (stickiness, hysteresis, etc.) and that an accurate value of power density has been obtained at each stated power level.

The data should then be plotted in suitable co-ordinates so that the resultant plot would be a straight line if the data were fully linear. Two curves should be drawn:

- a) one consisting of a series of straight segments passing from adjacent point to adjacent point;
- b) the best fit straight line.

The maximum deviation between these curves should be within the linearity limits.

#### 4.1.A.4.4 *Sensitivity calibration (see Note 1 of Sub-clause 4.1.A.5)*

With the instrument mounted as in Sub-clause 4.1.A.4.2, the sensor oriented for maximum power and the elevation angle adjusted so that the instrument axis is one proximity distance above the ground plane, adjust the sensor range to a stated value between  $\lambda$  and  $3\lambda$ . Then adjust the frequency to mid-band and the input power to obtain full scale indication, thereafter holding both constant. Increase the elevation angle through several stated values relative to the antenna axis (usually 75°, 60°, 45°, 30°, 0°, -30°, -45°, -60°, -75°) and record the corresponding meter readings. Then repeat with the instrument incremented through the same values for the orthogonal elevation axis.

Thus, for each elevation angle above the ground plane, four data points have been obtained. Average these four values and correct for linearity using the calibration non-smooth curve a) of Sub-clause 4.1.A.4.3. The corrected values are used to integrate arithmetically the power density over the area of the stated hemisphere. The power value obtained from this integration,  $P_c$ , is related to the instrument correction factor by  $K$ ,

$$K = P_{\text{radiated}}/P_c$$

Actual power density thus becomes indicated density multiplied by this factor.

#### 4.1.A.4.5 *Calibration at various frequencies (see Note 1 of Sub-clause 4.1.A.5)*

The steps of Sub-clause 4.1.A.4.4 are to be repeated in full for frequencies at both ends of any band for which calibration is to be carried out.

#### 4.1.A.4.6 *Calibration error when the instrument is held by hand*

When the instrument is placed at a fixed position in a steady far field of magnitude such as to produce approximately a full scale deflection of the meter, there shall be less than 1 dB difference in indication when

- a) the instrument is held in the normal manner (hand or otherwise), and
- b) supported on an extensive polyethylene foam plane.

#### 4.1.A.4.7 *Détermination de l'ouverture effective du capteur*

L'appareil de mesure est monté comme indiqué au paragraphe 4.1.A.4.4 et la source est réglée pour donner une indication connue de densité de puissance sur le capteur. Le détecteur (voir la note) est débranché du capteur (le capteur restant dans la même position). La puissance réelle absorbée par le capteur est alors mesurée par un appareil de mesure de puissance dont l'impédance d'entrée est identique à celle du détecteur. En divisant 1) la puissance mesurée par 2) la densité de puissance indiquée, on obtient 3) l'ouverture effective du capteur en centimètres carrés.

*Note.* — Certains appareils de mesure relient directement le capteur et le détecteur. Lorsque c'est le cas, il ne faut pas essayer de mesurer l'ouverture effective.

#### 4.1.A.4.8 *Dimension maximale de l'ouverture du capteur*

La longueur physique du plus long élément de l'antenne est mesurée directement ou déterminée par une photographie du capteur aux rayons X. Les matériaux qui chargent diélectriquement le capteur doivent être inclus, mais les matériaux qui n'ont aucune action peuvent être exclus.

#### 4.1.A.4.9 *Précision d'étalonnage*

L'erreur d'étalonnage est la valeur maximale de la somme des valeurs absolues de l'erreur de linéarité (voir le paragraphe 4.1.A.4.3) exprimée en décibels, et du facteur de correction  $K$  dans le pire des cas (voir les paragraphes 4.1.A.4.4 et 4.1.A.4.5) exprimé en décibels.

#### 4.1.A.4.10 *Détermination de l'imprécision d'étalonnage provenant de captages parasites radioélectriques*

*Note.* — Les appareils de mesure qui détectent la puissance de fuite au moyen de capteurs éloignés des indicateurs auront, en général, moins de difficultés dues aux effets de proximité que ceux qui allient indicateurs et capteurs dans un dispositif intégré. Dans chaque cas, il est possible qu'une partie de la valeur indiquée provienne d'un couplage non désiré avec l'appareil de mesure ou le câble. L'effet d'un tel couplage variant selon la répartition spatiale du champ à mesurer, l'erreur qu'il introduit ne peut être étalonnée. En conséquence, un essai de vérification d'absence de fuites involontaires est important. Lorsque l'indicateur est séparé du capteur, il est souvent nécessaire de couvrir les câbles de connexion avec des matériaux à pertes élevées et de s'assurer que toutes les ouvertures ont été blindées ou munies d'écran.

On explore le champ sur une vaste surface de mousse de polyéthylène (ou un matériau équivalent de susceptibilité diélectrique voisine de zéro) et le profil de la densité de la puissance constante est tracé sur cette surface. Ensuite, le capteur est placé de façon normale à une des extrémités du secteur ainsi tracé.

Puis, le boîtier contenant l'indicateur est orienté de telle façon que chacune de ses surfaces soit successivement parallèle au profil de la puissance constante et à moins de 30 cm du capteur. De même, tous les câbles ou fils nécessaires à l'utilisation normale, etc., sont exposés à la même distance. La valeur indiquée ne doit pas varier de plus de 1 dB dans une quelconque de ces conditions.

*Attention:* Cette mesure ne doit pas être effectuée trop près de la source unipolaire, sinon des réflexions provenant du boîtier de l'indicateur peuvent affecter les champs sur le capteur.

#### 4.1.A.4.11 *Détermination du temps de réponse*

On monte le capteur comme indiqué au paragraphe 4.1.A.4.4. On règle la source de puissance pour donner une déviation totale de l'appareil de mesure et on mesure la puissance de source par une méthode calorimétrique. On commute alors la puissance de source pour un fonctionnement en impulsions avec un facteur d'utilisation nominal de 10%. On augmente graduellement la durée d'impulsion, en maintenant constante la puissance moyenne déterminée calorimétriquement par la charge à eau. La densité de puissance indiquée augmente à mesure que la durée d'impulsion augmente jusqu'à ce que, pour une certaine durée d'impulsion, la valeur indiquée soit la portion définie de la valeur vraie (déterminée par le calorimètre). Cette valeur de la durée d'impulsion, en secondes, est le temps de réponse.

#### 4.1.A.4.7 *Determination of effective aperture of the sensor*

The measuring instrument is mounted as in Sub-clause 4.1.A.4.4 and the source is adjusted to provide a stated known power density at the sensor. The detector (see note) is removed from the sensor (with the sensor remaining in the same position). The actual power absorbed by the sensor is then measured by a power meter whose input impedance is identical to that of the detector. Dividing 1) the measured power by 2) the stated power density gives 3) the effective aperture of the sensor in square centimetres.

*Note.* — Some measuring instruments directly connect sensor and detector. When this is done, do not attempt to measure the effective aperture.

#### 4.1.A.4.8 *Maximum dimension of the aperture of the sensor*

The physical length of the longest element of the antenna is measured directly or determined from an X-ray picture of the sensor. Materials which dielectrically load the sensor must be included, but non-participating materials can be excluded.

#### 4.1.A.4.9 *Calibration accuracy*

The calibration error is the maximum value of the sum of the absolute values of the linearity error (see Sub-clause 4.1.A.4.3) expressed in decibels and the worst case correction factor  $K$  (see Sub-clauses 4.1.A.4.4 and 4.1.A.4.5) expressed in decibels.

#### 4.1.A.4.10 *Determination of calibration inaccuracy arising from stray r.f. pick-up*

*Note.* — Measuring instruments which detect leakage power by a sensor which is remote from the indicators generally shall have less difficulties from proximity effects than those which combine indicator and sensor in an integral arrangement. In either case, it is possible that a portion of the indicated value is derived from unintended coupling to the instrument or cable. Since the effect of such coupling shall vary with the spatial distribution of the field being measured, the error introduced by such unintended coupling cannot be calibrated out. As a consequence, a test for unintended leakage is important. When the meter is separate from the sensor, it is often necessary to cover connecting cables with lossy materials and to ensure that all openings are shielded or screened.

Explore the field over an extensive surface of polyethylene foam (or equivalent material of dielectric susceptibility approaching zero), and mark on the surface a constant power density profile. Then, position the sensor in the normal manner at one end of the sector marked out.

Then, in turn, position the meter box so that all its surfaces, in turn, are parallel to the constant power profile and at least 30 cm from the sensor. Likewise, expose all cables, line cords needed in normal use, etc., at the same distance. Under no condition shall the indicated value change by more than 1 dB.

*Caution:* This measurement cannot be made too close to the source monopole or reflections from the meter box may affect fields at the sensor.

#### 4.1.A.4.11 *Determination of response time*

Mount the sensor as in Sub-clause 4.1.A.4.4. Adjust the power source to give full scale indication on the measuring instrument and measure the source power calorimetrically. Then switch the power source to pulse operation with nominally 10% duty factor. Gradually increase the pulse duration, maintaining the average power constant as determined calorimetrically by the water load. The indicated power density will increase as the pulse duration increases until, at some pulse duration, the indicated value is the stated portion of the true value (as determined by the calorimeter). This value of the pulse duration, in seconds, is the response time.



#### 4.1.A.5 *Mesure des fuites en hyperfréquences*

Le tube dont les fuites doivent être mesurées doit fonctionner dans l'enveloppe définie et dans les conditions définies, et un capteur convenablement étalonné devra, à la distance définie (voir la note 1), explorer toute la surface de l'enveloppe. Lorsqu'on constate des indications de puissance en hyperfréquences, le capteur doit être orienté dans tous les plans afin de rendre maximale la valeur indiquée quand on utilise la constante de temps de mesure spécifiée. Le résultat de mesure est le maximum de toutes les valeurs ainsi obtenues (voir la note 2).

##### *Précaution :*

La présence d'un opérateur ou d'un appareil de mesure peut avoir une influence sur les fuites et, par conséquent, sur la mesure elle-même.

- Notes 1.* — Pour assurer l'uniformité de la distance par rapport à l'enveloppe et pour faciliter les recherches, le capteur ou l'appareil de mesure peut être muni d'un dispositif sphérique ayant le capteur à son centre, et dont le rayon est la distance spécifiée pour la mesure. Si une telle sphère de détermination de la position est utilisée, l'étalonnage spécifié aux paragraphes 4.1.A.4.4. et 4.1.A.4.5 doit être effectué avec la sphère en place.
2. — Lorsque les conditions de fonctionnement comprennent une modulation de forme quelconque à des fréquences suffisamment basses pour que l'indication de l'appareil de mesure dérive ou fluctue, on utilisera la valeur moyenne. On prend souvent la moyenne des valeurs minimale et maximale comme moyenne convenable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-2C:1976

#### 4.1.A.5 *Measurement of microwave leakage*

The tube whose leakage is to be measured shall be operated within the stated enclosure at the stated conditions and a suitably calibrated sensor shall, at the stated distance (see Note 1) from it, explore all the surface of the enclosure. Where indications of microwave power are observed, the sensor shall be rotated in all planes so as to maximize the indicated value when a specified meter time constant is used. The result of the measurement is the maximum of all the values so obtained (see Note 2).

##### *Precaution:*

The presence of an operator or of the instrumentation may have an influence on the leakages and therefore on the measurement itself.

*Notes 1.* — To ensure uniformity of distance from the enclosure and for ease in searching, the sensor or the measuring instrument may be provided with a spherical tip with the sensor at its centre, whose radius is the stated distance for measurement. If such a positioning sphere is to be used, the calibration specified in Sub-clauses 4.1.A.4.4 and 4.1.A.4.5 should be made with the sphere in place.

*2.* — When the operating conditions include modulation of some form at such low frequency rates that the meter indication drifts or fluctuates, the average value should be used. The mean of the minimum and maximum values is often used as a suitable average.

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-2C:1976

## CHAPITRE IV: MESURES GÉNÉRALES POUR LES TUBES AMPLIFICATEURS

Page 48

Remplacer le texte existant du paragraphe 16.3 par le texte suivant :

### 16.3 Mesure des puissances de sortie harmonique et parasite

Ce paragraphe décrit les méthodes de mesure des puissances de sortie harmonique et parasite de tubes amplificateurs pour hyperfréquences, dans des conditions d'impédance de charge données.

#### 16.3.1 Introduction

La mesure de la puissance de sortie aux fréquences harmoniques et parasites est nécessaire pour assurer que les brouillages avec d'autres services peuvent être maintenus au-dessous d'un niveau tolérable.

Cette mesure est aussi nécessaire pour les amplificateurs à hyperfréquences à très large bande, pour permettre d'éviter un mauvais rendement en fonctionnement sur la fréquence fondamentale.

Un exposé complet du comportement du tube dans toutes les conditions de charge est pratiquement impossible.

Les mesures du comportement du tube doivent être faites dans des conditions de charge données, et doivent au moins couvrir le fonctionnement dans la bande donnée.

Ceux qui conçoivent les systèmes doivent tenir compte du fait que les puissances de sortie harmonique et parasite dépendent tout particulièrement des conditions de charge en sortie.

Ces conditions peuvent être complexes, car l'impédance présentée au tube peut être fonction de la température, de la longueur de ligne, de détails de disposition du guide d'ondes ainsi que d'autres facteurs, de telle façon qu'un fonctionnement à plusieurs états stables peut se produire.

En conséquence, il est souvent difficile de lier le fonctionnement du tube dans des conditions normalisées au fonctionnement obtenu dans un système.

A cause de ces difficultés, on ne peut s'attendre à ce que les résultats de ces méthodes de mesure soient précis et reproductibles à mieux que 3 dB.

#### 16.3.2 Terminologie

##### 16.3.2.1 Puissance de sortie harmonique

Puissance de sortie en radiofréquence à des fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

##### 16.3.2.2 Puissance de sortie parasite

Puissance de sortie en radiofréquence à des fréquences non désirées qui ne sont pas associées à des produits d'intermodulation de la porteuse ou de ses bandes latérales de modulation.

#### 16.3.3 Théorie

##### 16.3.3.1 Caractéristiques du tube

Le processus de groupement serré qui se produit dans le faisceau électronique d'un tube amplificateur en hyperfréquences à haut rendement donne naissance à des harmoniques à la sortie.

Des ondes de charge d'espace d'un ordre plus élevé, et/ou des oscillations d'électrons, peuvent donner naissance à d'autres interactions électroniques à des fréquences qui sont différentes de la fréquence fondamentale.

De plus, la plupart des circuits en hyperfréquences peuvent admettre des modes de propagation autres que le mode principal.

S'il existe une réaction par le faisceau électronique ou par le circuit à une fréquence telle que l'impédance du circuit procure un couplage convenable avec le faisceau, des oscillations parasites se produiront.

Pour un tube donné, la quantité de puissance de sortie harmonique et parasite transmise dépend aussi de l'impédance de charge au couplage avec le faisceau.

La sortie à une fréquence considérée est fonction du comportement (adaptation, couplage, accord) des autres modes.



## CHAPTER IV: GENERAL MEASUREMENTS FOR AMPLIFIER TUBES

### Page 49

Replace the existing text of Sub-clause 16.3 by the following text:

#### 16.3 Measurement of harmonic and spurious output power

This sub-clause describes methods of measurement of harmonic and spurious output power from microwave amplifier tubes under stated conditions of load impedance.

##### 16.3.1 Introduction

Measurement of output power at harmonic and spurious frequencies is needed in order to ensure that interference with other services can be kept below a tolerable level.

It is also necessary in the measurement of very wide band microwave amplifiers in order to be able to avoid inefficient operation at the fundamental frequency.

A complete statement of tube performance under all load conditions is virtually impossible.

Measurements of tube performance must be made under stated load conditions and must at least cover operation within the stated band.

System designers must take account of the fact that the harmonic and spurious power output is critically dependent on the output load conditions.

These conditions may be complex, as the impedance presented to the tube may depend on temperature, on line length, on details of waveguide configuration, and on other factors in such a way as to result in multistable performance.

Therefore, it is often difficult to relate tube performance under standard conditions to the performance obtained in a system.

In view of these difficulties, accuracy and reproducibility of the results of these measurement methods should not be expected to be better than 3 dB.

##### 16.3.2 Terminology

###### 16.3.2.1 Harmonic output power

R.F. output power at frequencies that are integral multiples of the fundamental frequency.

###### 16.3.2.2 Spurious output power

R.F. output power at undesired frequencies not associated with intermodulation products of the carrier or its modulation sidebands.

##### 16.3.3 Theory

###### 16.3.3.1 Tube characteristics

The tight bunching process occurring in the electron beam of a high-efficiency microwave amplifier tube gives rise to harmonics in the output.

Higher order space-charge waves and/or electron oscillations may give rise to other electronic interactions at frequencies other than the fundamental frequency.

Furthermore, most microwave circuits can support modes of propagation other than the principal one.

If either electronic or circuit feedback exists at a frequency for which the circuit impedance provides suitable coupling to the beam, spurious oscillations will occur.

For a given tube, the amount of harmonic and spurious output power transmitted depends also upon the load impedance and the coupling to the beam.

The output at a frequency of interest is affected by the behaviour (matching, coupling, tuning) of the other modes.

#### 16.3.3.2 Lignes de transmission (guide d'ondes ou coaxial) reliant le tube à charge voulue

Un système de ligne de transmission est normalement de dimensions telles qu'il n'autorise qu'un seul mode de propagation à la fréquence de fonctionnement voulue.

Toutefois, à des fréquences harmoniques et parasites, il peut se prêter à la propagation sur un ou plusieurs modes d'ordre plus élevé.

Pour chacun de ces modes, une impédance différente sera vraisemblablement présentée au tube.

De plus, des irrégularités dans le système de transmission peuvent entraîner une conversion d'un mode en un autre.

#### 16.3.3.3 Filtres

Les puissances harmonique et parasite peuvent être séparées de la puissance fondamentale par l'utilisation de filtres convenables.

A moins qu'un système d'échantillonnage ne soit utilisé, les filtres utilisés pour ces mesures doivent être du type à absorption et doivent être adaptés.

#### 16.3.3.4 Système d'échantillonnage

La puissance de sortie peut être échantillonnée pour procurer un signal à faible puissance qui est ensuite filtré et mesuré.

Pour un système à guide d'ondes, un système d'échantillonnage pouvant être utilisé consiste en trois sondes très courtes placées sur la ligne médiane et sur chacune des lignes voisines divisant en quarts la plus grande dimension du guide.

Une sonde dans la petite dimension peut être nécessaire s'il est possible qu'il existe un mode correspondant.

Chacune des sondes doit être couplée au dispositif de mesure par l'intermédiaire de filtres appropriés.

Pour un système coaxial, le couplage peut s'effectuer à l'aide d'un coupleur directionnel étudié spécialement pour extraire la puissance à une fréquence particulière, et pouvant être tourné autour de son axe pour coupler des composantes non transversales.

#### 16.3.4 Mesures

On fait fonctionner le tube dans des conditions données, dans un circuit semblable à celui de la figure 3, page 30, et étalonné auparavant.

Les tubes hyperfréquences accordables peuvent être accordés pour minimiser la puissance harmonique ou parasite produite, pour autant que cet accord soit compatible avec les autres conditions données.

Lorsque l'échantillonnage est effectué par sondes dans un guide d'ondes, le flux de puissance doit être déterminé en tenant compte du rapport d'onde stationnaire.

Lorsque l'échantillonnage est effectué par un coupleur directionnel sur une ligne coaxiale, on fera tourner le coupleur directionnel autour de son axe de quantités égales, on effectuera un ensemble périodique de lectures et la valeur moyenne de ces lectures sera calculée.

On mesure la puissance totale de sortie, ou bien la puissance à la fréquence fondamentale et la puissance aux fréquences harmoniques et parasites. Le résultat est exprimé, soit sous forme de puissance harmonique en watts, soit sous forme d'un niveau de puissance harmonique en décibels au-dessous du niveau de puissance fondamentale.

#### 16.3.5 Etalonnage

L'ensemble du système de mesure doit être étalonné à chaque fréquence considérée au moyen d'un générateur de signal indépendant.

Ce générateur devra être branché, à la place du tube en mesure, à l'entrée du système de mesure au moyen d'une section de couplage spéciale.

Cette section de couplage doit simuler autant que possible le système de sortie du tube à mesurer afin de lancer tous les modes en respectant leur importance relative.

A chacune des fréquences harmoniques et parasites appropriées, la puissance est mesurée par calorimétrie dans la charge, ainsi que par l'appareil de mesure.

Le système d'échantillonnage, le filtre et l'appareil de mesure sont étalonnés ensemble à partir de ces mesures.

#### 16.3.3.2 *Transmission lines (waveguide or coaxial) connecting tube to intended load*

A transmission line system is normally of such dimensions that it supports only one mode of propagation at the intended operating frequency.

However, at harmonic and spurious frequencies, it may be capable of propagating in one or more higher order modes.

For each of these modes, a different impedance is likely to be presented to the tube.

Furthermore, irregularities in the transmission system can cause conversion from one mode to another.

#### 16.3.3.3 *Filters*

Harmonic and spurious power can be separated from the fundamental power by the use of suitable filters.

Unless a sampling system is used, filters used in these measurements must be of the absorption type and matched.

#### 16.3.3.4 *Sampling system*

The output power may be sampled to provide a low-power signal for subsequent filtering and measurement.

For a waveguide system, three very short probes on the centre line and at each adjacent quadrant line of the broad dimension of the guide provide a possible sampling system.

A probe in the narrow dimension may be required if the possibility of a corresponding mode exists.

Each of the probes should be coupled through suitable filters to the measuring device.

For a coaxial system, coupling may be by a directional coupler specifically designed to extract power at a particular frequency and capable of rotation around its axis so as to couple non-TEM components.

#### 16.3.4 *Measurements*

The tube is operated under stated conditions in a circuit similar to that shown in Figure 3, page 30, which has previously been calibrated.

Microwave tubes which are tunable may be tuned so as to minimize the amount of harmonic or spurious power generated so long as tuning is consistent with the other conditions stated.

Where the sampling is achieved by probes in a waveguide, account must be taken of the v.s.w.r. in determining the power flow.

Where the sampling is by a directional coupler in a coaxial line, the directional coupler shall be rotated about its axis by equal increments, a periodic set of readings shall be taken and the average calculated.

The total output power or the power at the fundamental frequency and the power at the harmonic and spurious frequencies is measured. The result is expressed either as harmonic power in watts or as harmonic power level in decibels below the fundamental power level.

#### 16.3.5 *Calibration*

The whole of the measuring system should be calibrated at each frequency of interest by means of a separate signal generator.

This generator should be connected, in place of the tube being measured, to the input of the measuring system by means of a special coupling section.

This coupling section should simulate as far as possible the output system of the tube being measured so as to launch all of the modes in their proper-relative amounts.

Power at each of the appropriate harmonic and spurious frequencies is measured calorimetrically in the load, and also by the measuring instrument.

The sampling system, filter and measuring instrument are calibrated together using these measurements.