

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60235-9

Première édition
First edition
1975-01

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

**Neuvième partie:
Tubes amplificateurs à champs croisés**

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

**Part 9:
Crossed-field amplifier tubes**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60235-9: 1975

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**

60235-9

Première édition
First edition
1975-01

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

**Neuvième partie:
Tubes amplificateurs à champs croisés**

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

**Part 9:
Crossed-field amplifier tubes**

© IEC 1975 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

L

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Théorie	6
2.1 Interaction à champs croisés	6
2.2 Tubes amplificateurs à champs croisés	6
2.3 Tubes à faisceau injecté	6
2.4 Tubes à sole émissive	8
3. Précautions générales	8
3.1 Jauge ionique	10
3.2 Manutention	10
3.3 Fixation	10
3.4 Tensions d'électrodes	10
3.5 Conditions de fonctionnement	10
3.6 Conditions d'excitation à radiofréquence	12
3.7 Conditions de coupure de faisceau (tubes à sole émissive)	12
4. Mesures à radiofréquence	12
4.1 Excitation	12
4.2 Puissance de sortie	14
4.3 Facteur de mérite de l'électrode de commande	14
4.4 Tension de coupure	14
4.5 Mesures de l'amplificateur	14
4.6 Reproductibilité de la variable spécifiée	16
4.7 Stabilité en désadaptation	16
4.8 Bruit	16
4.9 Puissance de sortie parasite	18
FIGURES	20

IECNORM.COM: Only to view the full PDF of IEC 60235-9:1975

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Theory	7
2.1 Crossed-field interaction	7
2.2 Crossed-field amplifier tubes	7
2.3 Injected beam tubes	7
2.4 Emitting sole tubes	9
3. General precautions	9
3.1 Ion gauge	11
3.2 Handling	11
3.3 Mounting	11
3.4 Electrode voltages	11
3.5 Operating conditions	11
3.6 R.F. drive conditions	13
3.7 "Beam-pulse off" conditions (emitting sole tubes)	13
4. R.F. measurements	13
4.1 Drive	13
4.2 Output power	15
4.3 Control electrode figure of merit	15
4.4 Quench voltage	15
4.5 Amplifier measurements	15
4.6 Reproducibility of stated variable	17
4.7 Mismatch stability	17
4.8 Noise	17
4.9 Unwanted output power	19
FIGURES	20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60235-9:1975

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES
DES TUBES POUR HYPERFRÉQUENCES**

Neuvième partie: Tubes amplificateurs à champs croisés

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.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Londres en 1968. De nouveaux projets furent discutés lors des réunions tenues à Varsovie en 1969 et à Washington en 1970. A la suite de ces réunions, le projet, document 39A(Bureau Central)37, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1971.

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

Allemagne
Australie
Belgique
Canada
Etats-Unis d'Amérique
France
Israël
Italie

Japon
Pays-Bas
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT OF THE ELECTRICAL PROPERTIES
OF MICROWAVE TUBES**

Part 9: Crossed-field amplifier 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 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.

A first draft was discussed at the meeting held in London in 1968. Further drafts were discussed at the meetings held in Warsaw in 1969 and in Washington in 1970. As a result of these meetings, the draft, document 39A(Central Office)37, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1971.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Belgium	Netherlands
Canada	Sweden
Czechoslovakia	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America

MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DES TUBES POUR HYPERFRÉQUENCES

Neuvième partie : Tubes amplificateurs à champs croisés

1. Domaine d'application

La présente norme recommande des méthodes de mesure, des prescriptions et des précautions applicables à plusieurs types de tubes amplificateurs à champs croisés pour un fonctionnement aussi bien en ondes entretenues qu'en impulsions. Etant donné qu'il existe de nombreux types d'amplificateurs à champs croisés qui peuvent fonctionner dans diverses conditions de tension de fonctionnement et de radiofréquence, ces prescriptions et précautions ne doivent être considérées que comme des directives générales à appliquer en liaison avec les instructions des fabricants pour le tube particulier en mesure.

2. Théorie

2.1 Interaction à champs croisés

En présence de champs croisés et en négligeant les forces dues aux charges d'espace, les électrons se déplacent dans la direction perpendiculaire aux vecteurs des deux champs appliqués, à une vitesse égale au rapport des champs (c'est-à-dire $v = \frac{E}{B}$, où v est la vitesse des électrons, E est l'intensité du champ électrique statique et B est l'induction magnétique statique). Lorsqu'on synchronise cette vitesse avec celle d'un harmonique d'espace se propageant dans le circuit anodique, il se produit un échange d'énergie. Lorsque l'électron s'approche de l'anode sous l'influence du champ radiofréquence, sa vitesse et son énergie cinétique restent approximativement constantes, mais il transmet une énergie potentielle accrue à l'onde synchrone de circuit. Dans les conditions de grands signaux et de charge d'espace dense de la plupart des amplificateurs à champs croisés, les vitesses de l'onde du circuit et du faisceau sont modifiées et un accroissement de tension est nécessaire pour maintenir le fonctionnement.

2.2 Tubes amplificateurs à champs croisés

La famille des tubes amplificateurs à champs croisés pour hyperfréquences se présente selon de nombreuses configurations, constituées par des combinaisons des éléments de chacun des cas suivants :

- a) Le faisceau électronique est, soit injecté par un canon électronique, soit fourni par une sole émissive, soit des deux façons à la fois. Une source de chauffage distincte pour la sole peut ou non être nécessaire.
- b) La partie non utilisée du faisceau électronique soit pénètre à nouveau à l'entrée de la région d'interaction soit est recueillie à sa sortie.
- c) Le faisceau électronique est en interaction avec un circuit, soit à onde directe, soit à onde régressive.

Chacun de ces paramètres a son effet particulier sur les caractéristiques du tube. En général, les tubes à onde directe ont une bande passante plus large et un rendement plus faible que les tubes à onde régressive.

2.3 Tubes à faisceau injecté

Les dispositifs à faisceau injecté utilisant des faisceaux minces sont en général des tubes électroniques à impédance élevée. La géométrie du faisceau permet l'emploi de coupures de circuits et ainsi des gains pratiques atteignant 30 dB sont possibles. Des tubes de ce type, conçus pour une interaction à onde directe, peuvent avoir des bandes passantes supérieures à une octave, tout en ayant un rendement supérieur à 30%.

Le courant du faisceau, dans un tube à faisceau injecté, est réglé par modulation de la tension de l'électrode de commande du faisceau incorporée au canon électronique. Certains des électrons émis n'entrent pas en interaction et traversent ainsi le tube sans accroître la puissance à radiofréquence. Il est parfois possible d'utiliser une électrode collectrice au potentiel de la cathode ou à un potentiel voisin pour retourner les électrons non utilisés à l'alimentation, ce qui permet de récupérer une partie de l'énergie qui serait autrement perdue.

MEASUREMENT OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF MICROWAVE TUBES

Part 9: Crossed-field amplifier tubes

1. Scope

This standard describes methods of measurement, requirements and precautions applicable to several types of crossed-field amplifier tubes for both continuous wave and pulse operation. As there are many types of crossed-field amplifiers which can be operated under a variety of operating voltage and r.f. conditions, these requirements and precautions can be taken only as general guidance to be read in conjunction with the manufacturers' instructions for the particular tube being measured.

2. Theory

2.1 Crossed-field interaction

In the presence of crossed-fields, neglecting space charge forces, electrons move in the direction which is mutually perpendicular to both the applied field vectors, at a velocity equal to the ratio of the fields (i.e. $v = \frac{E}{B}$, where v is the electron velocity, E is the static electric field intensity and B is the static magnetic induction). When this velocity is made synchronous with that of a space harmonic travelling on the anode circuit, energy exchange takes place. As the electron moves towards the anode under the influence of the r.f. field, its velocity and kinetic energy remain approximately constant, but it transfers incremental potential energy to the synchronous-circuit wave. Under the large-signal and dense space-charge conditions of most crossed-field amplifiers, the velocities of both the circuit wave and beam are modified and an excess voltage is required to sustain operation.

2.2 Crossed-field amplifier tubes

The crossed-field amplifier family of microwave tubes exists in many configurations which represent combinations of one from each of the following:

- a) The electron beam is injected by an electron gun or derived from an emitting sole or both. A separate heating source for the sole may or may not be required.
- b) The unspent portion of the electron beam either re-enters the interaction region at the input or is collected at the exit of the interaction region.
- c) The electron beam interacts with either a backward-wave or a forward-wave circuit.

Each of these parameters has its own effect on the tube characteristics. In general, forward-wave tubes have greater bandwidth and lower efficiency than backward-wave tubes.

2.3 Injected beam tubes

Injected beam devices using thin beams are in general high-impedance electron tubes. The beam geometry permits the use of circuit severs and thus working gains of up to 30 dB are possible. Tubes of this type, designed for forward-wave interaction, may have bandwidths of greater than an octave together with an efficiency of greater than 30%.

The beam current, in an injected beam tube, is controlled by modulating the voltage on the beam-control electrode incorporated in the electron gun. Some of the electrons which are emitted fail to interact and thus they pass through the tube without adding to the r.f. power. It is sometimes possible to use a collector at or near cathode potential to return the unused electrons to the power supply, thus recovering a portion of the energy that would otherwise be lost.

2.4 Tubes à sole émissive

Une sole émissive ayant une surface importante produit une impédance de faisceau relativement faible et convient à des tubes de puissance modérée à élevée. Une telle construction produit un faisceau à vitesses multiples et des gains typiques de 13 dB à 20 dB. Les tubes de ce type conçus pour une interaction avec des ondes directes ont, d'une façon générale, un moins grand rendement mais une bande passante plus large. Le rendement d'interaction peut être accru en faisant rentrer le faisceau électronique dans la région d'interaction à l'entrée, formant ainsi un dispositif à faisceau rentrant.

La sole émissive peut être chauffée de sorte que le faisceau soit produit par une émission primaire d'électrons. De tels tubes risquent de ne pas être stables en l'absence d'excitation à radiofréquence et, s'ils sont utilisés en régime d'impulsions, ils ne fonctionnent de façon satisfaisante que si le courant de faisceau est pulsé par des impulsions cathodiques dont la durée est entièrement comprise dans l'impulsion à radiofréquence; si la durée de l'impulsion de faisceau s'étend au-delà de celle de l'impulsion à radiofréquence, cela risque de produire des signaux parasites ou d'endommager le tube.

Certains types de tubes amplificateurs à champs croisés pulsés et à sole froide fonctionnent avec des tensions continues de faisceau. Le faisceau électronique qui peut être rentrant ou non, est produit par des électrons secondaires émis par la sole en présence d'une excitation adéquate à radiofréquence. Sans excitation adéquate, le courant de faisceau cesse et il ne se produit aucune amplification, même si l'on continue d'appliquer la tension de synchronisme. Un fonctionnement satisfaisant peut être obtenu sur une certaine plage d'excitation à radiofréquence. A des valeurs plus faibles, l'émission secondaire peut être insuffisante pour donner une amplification utile, tandis qu'à des valeurs plus élevées, un fonctionnement sur un mode parasite peut se produire.

Dans ces tubes qui utilisent un faisceau rentrant à réaction interne afin d'accroître le rendement, le courant de faisceau n'est pas coupé lorsqu'il n'y a plus de puissance d'excitation, du fait que les électrons rentrants suffisent à produire du bruit à large bande. On doit donc ajouter à l'ensemble une électrode qui normalement n'intercepte pas (appelée électrode de coupure) et qui est capable de capter de tels électrons rentrants. Une impulsion de tension convenable appliquée à cette électrode à la fin de l'impulsion à radiofréquence coupe le courant de faisceau sans qu'une modulation cathodique soit nécessaire.

3. Précautions générales

Les précautions suivantes sont applicables en plus de celles énumérées au chapitre I de la Publication 235-2 de la CEI, Deuxième partie: Mesures générales, concernant les tubes à grande puissance:

- a) Le tube doit être protégé contre les conditions anormales de fonctionnement par des dispositifs de verrouillage appropriés. Il ne doit jamais fonctionner avec un courant électronique sans que les circuits de refroidissement et de pressurisation soient en fonctionnement, sans que la puissance d'excitation et les potentiels ou champs de concentration soient correctement appliqués, et qu'une charge correcte soit reliée à la sortie. Il est conseillé à l'utilisateur de consulter les instructions du fabricant concernant l'ordre d'application des tensions et courants. Dans ces dispositifs à grande puissance, la densité du faisceau électronique est telle que l'ensemble risque de fondre si le faisceau heurte des surfaces qui ne sont pas spécialement conçues pour résister à la chaleur. Pour cette raison, aucune puissance ne doit être appliquée au tube tant que les conditions d'excitation et de concentration prescrites ne sont pas établies. La faible impédance des tubes amplificateurs à champs croisés et l'étendue de la région d'interaction relativement grande qui en résulte rendent la probabilité de formation d'arcs suffisamment grande pour qu'il soit nécessaire de prévoir une adaptation convenable de l'impédance du tube à son alimentation comme moyen de protection du tube contre les détériorations causées par les arcs internes. Il conviendra de suivre les instructions du fabricant.
- b) En raison de la grande quantité de puissance qui peut être absorbée par un tube amplificateur à champs croisés conçu pour fonctionner à haute puissance, il peut être nécessaire de prolonger le refroidissement au-delà de la coupure de la puissance du faisceau, même dans le cas où la coupure résulte du fonctionnement des circuits de protection ou d'un arrêt de l'alimentation. Cela peut exiger le stockage d'un fluide refroidisseur sous pression.
- c) Etant donné la puissance élevée que l'on peut obtenir des tubes amplificateurs de grande puissance à champs croisés, il importe que toutes les connexions hyperfréquences soient parfaitement réalisées afin d'éviter les rayonnements de fuite qui posent non seulement des difficultés pour effectuer des mesures précises, mais peuvent

2.4 *Emitting sole tubes*

An emitting sole having a large area results in a relatively low value of beam impedance and is appropriate to moderate to high-power tubes. Such a structure results in a multiple-velocity beam and gains of typically 13 dB to 20 dB. Tubes of this type designed for interaction with forward-waves tend to have lower efficiency but wider bandwidth. The efficiency of interaction may be increased by causing the electron beam to re-enter the interaction region at the input, thus forming a re-entrant beam device.

The emitting sole may be heated so that the beam is derived from a primary emission of electrons. Such tubes may be unstable in the absence of r.f. drive and if used under pulse conditions operate satisfactorily only if the beam current is pulsed by cathode pulses whose duration is contained entirely within that of the r.f. pulse; if the beam pulse duration extends beyond that of the r.f. pulse, undesirable signals may be developed or the tube may be damaged.

Certain types of cold-sole pulsed crossed-field amplifier tubes operate with continuous beam voltages. The electron beam which may be re-entrant or non-re-entrant is derived from secondary electrons emitted from the sole in the presence of adequate r.f. drive. In the absence of adequate drive, the beam current ceases and no amplification takes place, even though the synchronous voltages are still applied. Satisfactory operation may be obtained over a range of r.f. drive. At lower values, the secondary emission may be inadequate to provide useful amplification, while at higher values undesirable moding may occur.

In those tubes which employ a re-entrant beam with internal feedback to increase efficiency, the beam current will not cease when drive power ceases, because the re-entering electrons are sufficient to cause wide-band noise. Thus, a normally non-intercepting electrode (called the quench electrode) must be added to the structure to capture such re-entering electrons. An appropriate voltage pulse applied to this electrode at the end of the r.f. pulse will cut off the beam current without the necessity of cathode modulation.

3. **General precautions**

In addition to the precautions listed in Chapter I of IEC Publication 235-2, Part 2: General Measurements, for high-power tubes, the following also apply:

- a) The tube should be protected from improper operating conditions by suitable interlocks. It should never be operated with beam current flowing unless cooling and pressurizing circuits are operating, all necessary driving power and focusing potentials or fields are properly applied and the correct load is connected to the output. The user is advised to consult the manufacturer's instructions regarding sequence of application of voltages and currents. In these high-power devices, the density of the electron beam is such that structures may melt if the beam impinges upon surfaces not specifically designed to withstand the heat. Thus, no power should be applied to the tube until prescribed drive and focusing conditions are present. The low impedance of crossed-field amplifier tubes and the consequent relatively large area of the interaction region make the probability of internal arcing so high that proper impedance matching to the power supply as a means of protecting the tube from damage due to this internal arcing should be incorporated. The manufacturer's instructions should be consulted.
- b) Because considerable power may be absorbed on portions of a crossed-field amplifier tube designed for high-power service, it may be necessary to continue cooling after the interruption of beam power, even in the event of protective circuit operation, power failure or interruption. This may require storage of coolant under pressure.
- c) Because of the power available from high-power crossed-field tubes, it is essential that all microwave connections be made carefully to avoid leakage radiation, which would not only make it difficult to make accurate measurements but also could be hazardous to personnel. The water load must be constructed carefully

également présenter des dangers pour le personnel. La charge à eau doit être conçue avec beaucoup de soin afin d'éviter des poches d'eau non circulante qui risquent de se transformer en vapeur, entraînant des conséquences désastreuses.

d) Tous les indicateurs de puissance utilisés pour les mesures ne doivent indiquer que la puissance à la fréquence fondamentale, sinon on risque d'obtenir des résultats erronés dus aux harmoniques présents dans le faisceau. Cette prescription est souvent satisfaite par l'emploi de filtres passe-bas.

e) Afin d'éviter des détériorations du tube, on doit tenir compte exactement des instructions du fabricant sur l'exécution des mesures de gain pour de faibles signaux ou de puissance de saturation.

f) On doit veiller à ce que la dissipation d'électrode admissible ne soit pas dépassée pendant les mesures.

g) Les tubes fonctionnant à une tension supérieure à 15 kV doivent être vérifiés à l'aide d'un détecteur de rayons X lors de leur installation. Si l'on observe un rayonnement X excessif, cela peut provenir de l'omission accidentelle d'une partie du blindage recommandé ou d'une utilisation incorrecte du tube. Dans chacun de ces deux cas, l'équipement doit être arrêté pendant qu'on détecte et qu'on élimine la cause.

3.1 Jauge ionique

Si l'emballage en fournit la possibilité, la jauge ionique du tube amplificateur à champs croisés doit être reliée par l'intermédiaire des bornes de l'emballage à une alimentation de jauge appropriée, telle que les instructions du fabricant le recommandent, de façon à permettre de contrôler le vide pendant que le tube reste dans l'emballage.

3.2 Manutention

Les enveloppes protectrices placées sur les isolateurs, scellements, sorties de guides d'ondes et l'écran de protection du pied de la cathode ne doivent être retirés qu'au tout dernier moment avant la mise en place du tube sur son support. Le retrait du tube amplificateur à champs croisés de son emballage doit être fait conformément aux instructions du fabricant. Si le tube est si volumineux que sa manutention exige des moyens mécaniques, de telles instructions indiquent généralement l'emplacement des organes de levage qu'il convient d'employer pour le déplacement du tube séparé de son emballage. Seules les surfaces désignées à cet effet par le fabricant doivent supporter le poids du tube amplificateur.

3.3 Fixation

Avant de fixer le tube amplificateur à champs croisés dans l'équipement de mesure, le connecteur, s'il y a lieu, doit être contrôlé électriquement et mécaniquement et la cuve de la cathode, si elle existe, doit subir un examen ayant pour objet de vérifier les distances d'isolement, le niveau d'huile et l'absence de contamination de l'huile par de l'eau ou des produits de décomposition.

Après la mise en place du tube, les circuits de refroidissement et les circuits magnétiques doivent être raccordés comme prescrit, puis examinés.

Note. — Pour les tubes comprenant des aimants incorporés, il est nécessaire d'utiliser des outils non magnétiques pour le montage et des bancs non magnétiques comme supports provisoires.

3.4 Tensions d'électrodes

Pour l'obtention de mesures précises, les tensions continues appliquées au tube ne doivent pas avoir d'ondulation supérieure à celle spécifiée, habituellement 0,1 %. Les potentiels sont appliqués dans l'ordre prescrit, les intervalles spécifiés étant respectés.

3.5 Conditions de fonctionnement

- 1) Avant d'appliquer toute tension au tube, on laisse fonctionner la jauge ionique (s'il y a lieu) pendant la durée prescrite ou jusqu'à obtention d'un vide satisfaisant.
- 2) On met en fonctionnement les circuits de refroidissement.
- 3) On applique le courant de chauffage, comme prescrit.

so as to avoid any pockets of standing water, as such pockets may be converted to steam with disastrous results.

- d) All power indicators used in the measurements should indicate only power at the fundamental frequency, or false data may result from harmonics present in the beam. This requirement is normally met by the use of low-pass filters.
- e) In order to avoid damage to the tube, the manufacturer's instructions regarding a measurement procedure must be observed carefully in the measurement of small-signal gain or saturation power.
- f) Care should be taken to ensure that the permissible electrode dissipation is not exceeded during measurements.
- g) Tubes operated at voltages in excess of 15 kV should be monitored for X-rays on installation. If excessive X-radiation is observed, it may be because a part of the recommended shielding has been omitted accidentally or the tube may not be operating correctly. In either case, the system should be shut down while the cause is determined and eliminated.

3.1 *Ion gauge*

When provision is so made in the packaging, the ion gauge on the crossed-field amplifier tube should be connected via the terminals on the package to a suitable ion gauge power supply as recommended in the manufacturer's instructions, so that vacuum monitoring can be carried out while the tube remains in its package.

3.2 *Handling*

Protective covers over bushings, seals, waveguide output and the protective shield over the cathode base should remain in place until the last possible moment before installing the tube. The manufacturer's instructions should be followed when removing the crossed-field amplifier tube from its package. When the tube is so large as to require mechanical aid in handling, such instructions will generally designate the location of lifting points suitable for use in moving the tube separately from the package. Only those surfaces so designated by the manufacturer should be used to support the weight of the amplifier tube.

3.3 *Mounting*

Before the crossed-field amplifier tube is mounted in the measuring equipment, the socket, if used, should be inspected for electrical and mechanical suitability and the cathode well, if present, should be inspected for adequate voltage clearance, level of oil and freedom from contamination of the oil by water or deterioration products.

After mounting, the cooling and magnetic circuits should be completed as required and inspected.

Note. — For tubes with integral magnets, non-magnetic tools must be used for mounting purposes and non-magnetic benches must be used as intermediate supports.

3.4 *Electrode voltages*

For measurement accuracy, the d.c. potentials to be applied to the tube should not have more than a stated amount of ripple, usually 0.1%. The potentials should be applied in the prescribed sequence, the stated delays being observed.

3.5 *Operating conditions*

- 1) Before the application of any tube potentials, operate the ion pump (where fitted) for the prescribed time or until a satisfactory vacuum has been obtained.
- 2) Activate cooling circuits.
- 3) Apply heater power, as required.

- 4) Si le tube n'est pas équipé d'un aimant permanent de concentration, les champs de concentration doivent être appliqués immédiatement avec la polarité* prescrite et être réajustés aux valeurs recommandées pendant toute période consécutive de dérive thermique.
- 5) Après la période spécifiée de chauffage du filament, on n'applique les autres tensions et l'excitation à radiofréquence que de la manière recommandée par le fabricant.

3.6 Conditions d'excitation à radiofréquence

Le dispositif d'excitation d'un tube amplificateur pour hyperfréquences doit être choisi en tenant compte des performances exigées de l'amplificateur. La puissance et la fréquence d'excitation doivent pouvoir être réglées de façon régulière et continue. Le découplage doit être suffisant pour que le dispositif d'excitation ne subisse pas de détérioration importante due à la puissance inverse. Le dispositif d'excitation doit comprendre les appareils de mesure de la puissance incidente et réfléchie, munis de filtres appropriés de façon à exclure la mesure de la puissance due aux harmoniques.

3.7 Conditions de coupure de faisceau (tubes à sole émissive)

Voir le paragraphe 2.4. Il faut s'assurer que la tension convenable est appliquée à l'électrode de coupure, s'il y a lieu.

4. Mesures à radiofréquence

4.1 Excitation

Avant d'appliquer l'excitation, la ligne de sortie et les coupleurs intermédiaires terminant les coupures du circuit doivent être reliés à des charges adaptées, sauf spécification contraire du fabricant.

4.1.1 Puissance d'excitation (puissance d'entrée à radiofréquence)

La puissance d'entrée à radiofréquence du tube amplificateur à champs croisés doit être la puissance à la fréquence fondamentale, sauf spécification contraire. Cette puissance est mesurée dans le bras avant d'un coupleur directionnel avec un filtre passe-bande en amont du détecteur. Ces dispositifs doivent être étalonnés par des méthodes de substitution.

4.1.2 Facteur de réflexion à froid ou rapport d'ondes stationnaires

Voir la Publication 235-2 de la CEEI, paragraphe 17.2.

4.1.3 Puissance inverse

On observe, dans les amplificateurs à champs croisés n'employant pas de coupure de circuits, une puissance se propageant en sens inverse dans la ligne d'entrée, produite dans le tube et réfléchie par la charge. Cette puissance inverse risque de détruire des composants de l'équipement si elle n'est pas limitée à une valeur maximale spécifiée.

4.1.3.1 Conditions de mesure

Les conditions de mesure sont celles nécessaires pour la mesure de la puissance et du gain. De plus, un isolateur et un coupleur directionnel sont connectés à l'entrée du tube amplificateur pour assurer le découplage nécessaire du dispositif d'excitation et séparer la puissance inverse. Une désadaptation variable est introduite à la sortie.

Si l'on veut analyser les fréquences de la puissance inverse, il faut disposer de filtres appropriés dans l'ensemble de mesure de la puissance; ces filtres doivent être étalonnés par une méthode de substitution.

4.1.3.2 Mesure

Lorsque le tube fonctionne dans des conditions spécifiées dans un circuit équivalent à celui de la figure 1, page 20, on mesure la puissance inverse à l'aide de coupleurs directionnels et de filtres. La phase d'un rapport d'ondes stationnaires spécifié, introduit par la désadaptation variable, est réglée de façon à obtenir la valeur maximale de la puissance inverse. Le résultat de cette mesure est cette valeur maximale.

* Le sens des champs doit être celui spécifié pour que les électrons se déplacent dans le sens voulu. Si l'on emploie un aimant extérieur ou un solénoïde, une polarité correcte est essentielle.

- 4) If the tube is not provided with permanent magnet focusing, the focusing fields should be immediately applied in the required polarity* and should be retrimmed to the recommended levels throughout any thermal drift period which ensues.
- 5) After the stated heater warm-up delay, apply other voltages and r.f. drive only in the manner recommended by the manufacturer.

3.6 R.F. drive conditions

The driver for a microwave amplifier tube should be chosen with the required amplifier performance in view. The drive power and frequency should be capable of smooth and continuous adjustment. There should be sufficient decoupling so that the driver is not affected materially by reverse-directed power. The drive system should include incident and reflected power instrumentation, suitably filtered to avoid measurement of any harmonic power.

3.7 "Beam-pulse off" conditions (emitting sole tubes)

See Sub-clause 2.4. Care should be taken to ensure that the correct voltage is applied to the quench electrode, if fitted.

4. R.F. measurements

4.1 Drive

Before drive is applied, the output terminal and any external circuit severers should be connected to matched loads, unless otherwise specified by the manufacturer.

4.1.1 Driving power (r.f. input power)

The r.f. power input to the crossed-field amplifier tube shall be at the fundamental frequency, unless otherwise stated. This power is measured in the forward arm of a directional coupler with a bandpass filter before the detector. These devices shall be calibrated by substitution methods.

4.1.2 Non-operating (or cold) reflection coefficient or v.s.w.r.

See IEC Publication 235-2, Sub-clause 17.2.

4.1.3 Reverse-directed power

Those crossed-field amplifier tubes which do not make use of circuit severers experience at the input terminals reverse-directed power generated within the tube as well as that reflected from the load. This reverse-directed power may destroy system components unless it is limited to a stated maximum value.

4.1.3.1 Conditions of measurement

The conditions of measurement are as required to measure power and gain. In addition, an isolator and a directional coupler are fitted to the input of the amplifier tube to ensure the required decoupling of the driver and to separate the reverse-directed power. A variable mismatch is also introduced at the output.

If it is desired to analyse the frequencies of the reverse-directed power, suitable filters are required in the power-measuring system, which should be calibrated by a substitution method.

4.1.3.2 Measurement

With the tube operating under stated conditions in a circuit equivalent to Figure 1, page 20, the reverse-directed power is measured with the aid of directional couplers and filters. The phase of a specified v.s.w.r. introduced by the variable mismatch is adjusted to obtain a maximum value of reverse-directed power. The result of the measurement is this maximum value.

* The direction of the fields must be as specified in order that the electrons move in the proper direction. If an external magnet or solenoid is used, correct polarity is essential.

4.2 Puissance de sortie

Voir la Publication 235-2 de la CEI, article 16.

4.3 Facteur de mérite de l'électrode de commande

Les électrodes de commande employées généralement dans les tubes amplificateurs à faisceau injecté à champs croisés présentent des valeurs relativement faibles de facteur de mérite et nécessitent souvent une tension de polarisation élevée pour la coupure.

4.3.1 Conditions de mesure

La figure 2, page 21, indique les appareils nécessaires pour la mesure. Les conditions générales sont les mêmes que pour la mesure de la puissance de sortie, à l'exception de la tension de l'électrode de commande.

4.3.2 Mesure

Le tube étant connecté, comme indiqué sur la figure 2, à un appareil de mesure de la puissance de sensibilité appropriée et fonctionnant dans les conditions de mesure de la puissance de sortie, avec cette différence que la tension de l'électrode de commande est réglée de façon à fournir moins que la puissance de sortie spécifiée, on règle la tension de façon à augmenter la puissance jusqu'au niveau prescrit pour la mesure. On mesure la tension de l'électrode de commande et on calcule le facteur de mérite qui est égal à la tension de l'électrode d'accélération du faisceau, divisée par la tension de l'électrode de commande.

En variante, on applique une tension d'électrode de commande spécifiée au tube et on mesure ensuite la puissance de sortie.

Précaution: Etant donné que le niveau de puissance de référence est généralement très bas par rapport aux possibilités du tube, les mesures doivent être effectuées avec précaution afin d'éviter de détériorer l'appareil de mesure.

4.4 Tension de coupure

L'application d'une impulsion de coupure à l'électrode de coupure immédiatement après la fin de l'impulsion d'excitation radiofréquence fait que le courant anodique est coupé par capture des électrons non utilisés immédiatement avant qu'ils ne rentrent dans la région d'interaction. On élimine ainsi oscillation et bruit après l'excitation, nuisibles au bon fonctionnement de l'équipement.

4.4.1 Conditions de mesure

La figure 2 représente les appareils nécessaires pour la mesure. On utilise les conditions générales de la mesure de la puissance de sortie.

4.4.2 Mesure

Le tube étant connecté comme indiqué sur la figure 2 et dans les conditions spécifiées de fonctionnement, on mesure la tension de polarisation de l'électrode de coupure et la tension de l'impulsion de coupure comme prescrit:

- a) pour rester, d'une part, à l'intérieur des limites du courant et de la dissipation de l'électrode de coupure, et
- b) pour arrêter, d'autre part, le passage du courant anodique dans le temps spécifié.

4.5 Mesures de l'amplificateur

De nombreux amplificateurs à champs croisés et à sole émissive ne sont pas stables en l'absence d'excitation. Les recommandations du fabricant doivent être consultées avant d'effectuer les mesures.

4.5.1 Gain

Le tube amplificateur à champs croisés est mis en fonctionnement dans les conditions spécifiées et réglé de façon que le fonctionnement soit optimal. Les puissances d'entrée et de sortie sont mesurées pour calculer le gain.

4.5.2 Gain de puissance disponible

Voir la Publication 235-2 de la CEI, paragraphe 14.2.

4.2. Output power

See IEC Publication 235-2, Clause 16

4.3 Control electrode figure of merit

Control electrodes in use in injected beam crossed-field amplifier tubes in general have relatively low values of figure of merit and frequently require high-bias voltage to turn off.

4.3.1 Conditions of measurement

Figure 2, page 21, indicates the equipment needed for the measurement. General conditions as in the measurement of output power are used, except for the control-electrode voltage.

4.3.2 Measurement

With the tube connected, as indicated in Figure 2, with a power meter of suitable sensitivity and operating at power output measurement conditions, except that the control-electrode voltage is adjusted to give less than the specified output power, adjust the voltage so as to increase the power to the level prescribed for the measurement. Measure the control-electrode voltage and compute the figure of merit which is equal to the beam-accelerating electrode voltage divided by the control-electrode voltage.

Alternatively, a stated value of control-electrode voltage is applied to the tube and the power output is then measured.

Precaution: Since the reference power level is generally very low compared with the tube capability, the measurements must be made with care to avoid damage to the measurement apparatus.

4.4 Quench voltage

The application of the quenching pulse to the quench electrode just after completion of a r.f. drive pulse causes anode current to quench by the capture of unspent electrons just before they would otherwise re-enter the interaction region. Thus, post-drive oscillation or noise which decreases the operating efficiency is eliminated.

4.4.1 Conditions of measurement

Figure 2 indicates the equipment needed for the measurement. General conditions, as in measurement of output power, are used.

4.4.2 Measurement

With the tube connected as in Figure 2 and operating under stated conditions, measure both quench electrode bias and the pulse quench voltage as required to:

- a) remain within the quench electrode current and dissipation limits, and
- b) arrest the flow of anode current within the stated time.

4.5 Amplifier measurements

Many emitting-sole crossed-field amplifiers are unstable in the absence of drive. The manufacturer's recommendations should be consulted before conducting measurements.

4.5.1 Gain

The crossed-field amplifier tube is operated under all the stated conditions and is adjusted for optimum performance. Gain is computed from measurements of input and output power.

4.5.2 Available gain at specified output power

See IEC Publication 235-2, Sub-clause 14.2.

4.5.3 Gain pour de faibles signaux

Voir la Publication 235-2 de la CEI, paragraphe 14.3.

4.5.4 Largeur de bande instantanée

Voir la Publication 235-2 de la CEI, paragraphe 15.1

4.5.5 Spectre (amplificateurs à impulsions)

La largeur de bande radiofréquence et les lobes secondaires sont mesurés au moyen d'un analyseur de spectre radiofréquence dans les conditions spécifiées et à la phase la plus défavorable du rapport d'ondes stationnaires maximal admissible, sauf spécification contraire.

4.5.5.1 Largeur de bande radiofréquence

La largeur de bande radiofréquence est mesurée au niveau spécifié au-dessous du maximum du lobe principal. S'il existe des lobes secondaires supérieurs au niveau spécifié, ils doivent être compris dans les résultats de mesure.

4.5.5.2 Lobes secondaires

Les lobes secondaires sont mesurés en tant que rapport de puissance ou en tant que différence, en décibels, entre le lobe principal et le plus grand des lobes secondaires.

Précaution: Le spectre de l'amplificateur à champs croisés dépend en grande partie des caractéristiques du dispositif d'excitation à radiofréquence et de l'alimentation du tube.

4.5.6 Linéarité du gain

Voir la Publication 235-2E de la CEI: Cinquième complément à la Publication 235-2 (en préparation).

Note. — De nombreux amplificateurs à champs croisés, particulièrement ceux comportant des soles émissives reproduisent d'une façon non linéaire l'impulsion d'excitation à radiofréquence. Les recommandations du fabricant doivent être consultées.

4.5.7 Indécision de phase incidente (amplificateurs à impulsions)

Voir la Publication 235-2B de la CEI: Deuxième complément à la Publication 235-2, Chapitre III, article 12a.

4.5.8 Coefficient de conversion (AM/PM)

Voir la Publication 235-2E de la CEI (en préparation).

4.5.9 Sensibilité de phase à la tension ou au courant

Voir la Publication 235-2 de la CEI, article 19.

4.6. Reproductibilité de la variable spécifiée

Le tube amplificateur à champs croisés est réglé de façon que le fonctionnement soit optimal dans les conditions spécifiées et, à l'équilibre thermique, la variable spécifiée est mesurée. Les conditions de fonctionnement de tension et d'excitation sont maintenues sans changement pour la mesure.

Un second groupe de conditions spécifiées, d'habitude uniquement la suppression de la puissance de faisceau et de l'excitation, est maintenu pendant la période spécifiée. On rétablit ensuite les conditions initiales et on laisse fonctionner le tube jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint. Ensuite on mesure la dérive de la variable spécifiée.

Note. — Cette mesure est nécessaire parce que la dilatation thermique des structures de lignes et de soles peut provoquer des phénomènes transitoires non reproductibles pendant la période d'échauffement.

4.7 Stabilité en désadaptation

Voir la Publication 235-2 de la CEI, paragraphe 20.3.

Le tube amplificateur à champs croisés fonctionne conformément aux conditions spécifiées pendant que l'on fait varier une valeur spécifiée du facteur de réflexion (ou du rapport d'ondes stationnaires) en passant par toutes les phases. Le tube est considéré comme satisfaisant s'il fonctionne conformément aux prescriptions, dans ces conditions.

4.8 Bruit

Voir la Publication 235-2A de la CEI: Premier complément à la Publication 235-2, chapitre V, et la Publication 235-2D de la CEI: Quatrième complément à la Publication 235-2 (en cours d'impression).

4.5.3 *Small-signal gain*

See IEC Publication 235-2, Sub-clause 14.3.

4.5.4 *Instantaneous bandwidth*

See IEC Publication 235-2, Sub-clause 15.1.

4.5.5 *Spectrum (pulse amplifiers)*

The r.f. bandwidth and minor lobes are measured by means of an r.f. spectrum analyser under the stated conditions and at the worst phase of the maximum permissible v.s.w.r., unless otherwise stated.

4.5.5.1 *R.F. bandwidth*

The r.f. bandwidth is measured at the stated level below the maximum of the major lobe. If any minor lobes are greater than the stated level, they are to be included in the measurement result.

4.5.5.2 *Minor lobes*

The minor lobes shall be measured as a ratio of power or a difference, in decibels, between the major lobe and the largest minor lobe.

Precaution: The spectrum of the crossed-field amplifier is highly dependent on the characteristics of the r.f. driver and the power supplies of the tube.

4.5.6 *Gain linearity*

See IEC Publication 235-2E, Fifth supplement to Publication 235-2 (in preparation).

Note. — Many crossed-field amplifiers, particularly those with emitting soles, are non-linear reproducers of the r.f. drive pulse. The manufacturer's recommendations should be consulted.

4.5.7 *Incidental phase jitter (pulse amplifiers)*

See IEC Publication 235-2B, Second supplement to Publication 235-2, Chapter III, Clause 12a.

4.5.8 *AM/PM conversion coefficient*

See IEC Publication 235-2E (in preparation).

4.5.9 *Phase sensitivity to voltage or current*

See IEC Publication 235-2, Clause 19.

4.6 *Reproducibility of stated variable*

The crossed-field amplifier tube is adjusted for optimum performance under stated conditions and after thermal equilibrium has been reached, the stated variable is measured. The operating conditions of voltage and drive are then maintained at constant values for the remainder of the measurement.

A second set of stated conditions, usually the turn-off of beam power and drive only, is maintained for a stated period. The original conditions are then restored and the tube is operated until thermal equilibrium is again achieved. The change in the value of the stated variable is then measured.

Note. — This measurement is necessary because the thermal expansion of the line (slow-wave structure) and sole structures may cause non-reproducible transients during warm-up.

4.7 *Mismatch stability*

See IEC Publication 235-2, Sub-clause 20.3.

The crossed-field amplifier tube is operated in accordance with the stated conditions while a stated value of reflection coefficient (or v.s.w.r.) is varied through all phases. The tube is considered to be satisfactory if it meets the required performance under these stated conditions.

4.8 *Noise*

See IEC Publication 235-2A, First supplement to Publication 235-2, Chapter V, and IEC Publication 235-2D, Fourth supplement to Publication 235-2 (in course of printing).