

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60235-2

Première édition
First edition
1972-01

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

**Deuxième partie:
Mesures générales**

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

**Part 2:
General measurements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60235-2: 1972

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

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**

60235-2

Première édition
First edition
1972-01

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

**Deuxième partie:
Mesures générales**

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

**Part 2:
General measurements**

© IEC 1972 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

V

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Chapitres	
I : Conditions générales et précautions	8
II : Mesures générales pour l'ensemble des dispositifs	12
III : Mesures générales pour les dispositifs oscillateurs	32
IV : Mesures générales pour les tubes amplificateurs	42
FIGURES	58
ANNEXE – Tubes amplificateurs à ondes progressives, type «O»	68

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Chapter	
I: General requirements and precautions	9
II: General measurements for all devices	13
III: General measurements for oscillator devices	33
IV: General measurements for amplifier tubes	43
FIGURES	58
APPENDIX – Forward-wave amplifier tubes “O” type	69

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**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 recommandation a été préparée 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 à la réunion du CE 39 qui eut lieu à Nice en 1962. Un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1963. A la suite du vote et de l'examen qui prirent place à la réunion du CE 39 à Aix-les-Bains en mai 1964, un nouveau projet fut diffusé puis discuté à la réunion de Tokyo en octobre 1965, lorsqu'il fut décidé de diffuser un nouveau projet sous la référence du SC 39A tout nouvellement constitué. Ce projet fut discuté aux réunions du SC 39A à Florence et à Hambourg en 1966. A la suite de ces réunions, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1967.

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

Allemagne	Israël
Australie	Italie
Belgique	Japon
Canada	Pologne
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis	Suède
d'Amérique	Suisse
France	Turquie

Les travaux commencèrent séparément sur les mesures générales des tubes amplificateurs (Chapitre IV). Un premier projet fut discuté aux réunions du SC 39A à Florence et à Hambourg en 1966. Un projet ultérieur fut discuté à la réunion du SC 39A à New Haven, Etats-Unis d'Amérique, en 1967. A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1968.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 39, Electronic tubes, and Sub-Committee 39A, Microwave tubes.

A first draft was discussed during the TC 39 meeting held in Nice in 1962. A draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1963. As a result of the voting and consideration during the TC 39 meeting held in Aix-les-Bains in May 1964 a new draft was circulated and discussed at the Tokyo meeting in October 1965, when it was agreed to circulate a new draft under the newly-formed SC 39A. This draft was discussed at the meetings of SC 39A in Florence and Hamburg in 1966. As a result a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1967.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Belgium	Poland
Canada	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Germany	United Kingdom
Israel	United States
Italy	of America

Work was started separately on general measurements for amplifier tubes (Chapter IV). A first draft was discussed at the Florence and Hamburg meetings of SC 39A in 1966. A further draft was discussed at the meeting of SC 39A in New Haven, United States of America, in 1967. As a result a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1968.

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

Allemagne	Pays-Bas
Australie	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis	Suisse
d'Amérique	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie
Japon	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

En raison de sa similarité avec un document sur les tubes amplificateurs d'ondes mobiles et du vote négatif porté sur ce dernier pour cause de duplication possible, il fut décidé de modifier légèrement le Chapitre IV. Un projet modifié fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en octobre 1969.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication d'un Chapitre IV modifié:

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

Cette recommandation renferme également les mesures acceptées par les Comités nationaux pour les transférer des Parties 3 à 9 inclus à la Partie 2 de la Publication 235. Le détail des votes est indiqué dans les préfaces aux parties correspondantes.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Poland
Belgium	Sweden
Czechoslovakia	Switzerland
Denmark	Turkey
Germany	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America

As a result of similarity with a document on travelling-wave amplifier tubes, and a negative vote on the latter because of possible duplication, it was decided to amend slightly Chapter IV and a draft was submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in October 1969.

The following countries voted explicitly in favour of the publication of an amended Chapter IV:

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

Also included in this Recommendation are measurements accepted by the National Committees for transfer to Part 2 of Publication 235 from Parts 3-9 inclusive. The records of voting are shown in the prefaces to the relevant parts.

MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DES TUBES POUR HYPERFRÉQUENCES

Deuxième partie: Mesures générales

CHAPITRE I : CONDITIONS GÉNÉRALES ET PRÉCAUTIONS

1. Appareils de mesure

Les montures, coupleurs directifs, appareils de mesure de fréquence, détecteurs de taux d'ondes stationnaires et charges doivent être appropriés afin d'assurer une adaptation correcte dans la bande de fréquence et aux niveaux de puissance désirés.

Il convient de contrôler le taux d'ondes stationnaires du matériel de mesure pour toute la bande de fréquence désirée; les montures accordables et les ondemètres doivent être accordés aux fréquences désirées.

Lorsque des guides d'ondes sont utilisés, leurs parois intérieures doivent être propres et libres de toute obstruction et les guides doivent être assemblés avec les appareils de mesure de façon aussi directe et aussi précise que possible. Lorsqu'on utilise une ligne coaxiale, on doit vérifier qu'il n'y a pas de discontinuité de l'impédance aussi bien dans le conducteur intérieur que dans le conducteur extérieur. La charge doit avoir la valeur requise d'adaptation pour toute la bande de fréquence concernée. Par exemple, dans le cas d'un couplage de guides d'ondes, il convient d'utiliser soit un guide d'ondes de dimensions requises, soit un adaptateur progressif ayant d'un côté des dimensions requises et de l'autre côté les dimensions voisines de façon à couvrir toute la gamme de fréquences utilisée.

Les circuits de sortie, couplage et lectures en basse fréquence doivent avoir une constante de temps ou des caractéristiques de réponse en impulsions qui n'apportent pas de distorsion aux formes d'onde étudiées.

Tout dispositif de mesure employé doit être protégé de telle façon que les champs électromagnétiques parasites aient une influence négligeable sur son fonctionnement.

2. Conditions de température

Les conditions de température doivent être normalement précisées pour les mesures.

Dans le cas où les températures de mesure ne seraient pas indiquées, il serait prudent de s'assurer que la température du corps ou de la surface de référence du tube ne dépasse pas 125 °C.

Lorsqu'il est nécessaire de mesurer la température afin de satisfaire aux conditions de fonctionnement ou pour la mesure du coefficient de température, il est préférable de mesurer la température à un endroit spécifié du tube plutôt que de mesurer la température ambiante, étant donné la grande variation de l'efficacité du refroidissement avec le débit et la turbulence du réfrigérant.

Il convient également de maintenir les conditions de fonctionnement constantes pendant un temps suffisant afin que toutes les parties du tube aient atteint leur température d'équilibre.

2.1 Refroidissement artificiel

Lorsque le refroidissement forcé est nécessaire, les indications suivantes doivent être données:

- a) nature du réfrigérant;
- b) méthode d'application;

MEASUREMENT OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF MICROWAVE TUBES

Part 2: General measurements

CHAPTER I: GENERAL REQUIREMENTS AND PRECAUTIONS

1. Measuring equipment

Measurement mounts, directional couplers, frequency-measuring apparatus, standing-wave detectors and loads should be measured for proper match over the required frequency band and power levels.

It is desirable that the complete measuring equipment be checked for standing waves over the required frequency band while any tunable mounts or wavemeters are tuned over their appropriate ranges.

When waveguides are used, their internal walls should be clean and free from obstructions and the guide should be assembled together with the measuring instruments as straight and as square as possible. When coaxial lines are used, these should be measured to ensure impedance continuities in both the inner and outer conductors. The load should have the required values of matching over the whole frequency band concerned. For example, with waveguide coupling either the required waveguide size, or a tapered coupling from the required size to an adjacent size that will cover the required frequency band, should be used.

The low-frequency output, coupling and display circuits, must have time constants or pulse response characteristics that do not affect the measurements being made.

Any measuring device used should be protected in such a way that stray electromagnetic fields have a negligible effect on its performance.

2. Temperature conditions

It is normally necessary to state the temperature conditions required during measurements.

As a general precaution, when operating temperatures are not stated, it is good practice to ensure that the temperature of the body or reference surface of the tube does not exceed 125 °C.

When the measurement of temperature is required for operating conditions or temperature coefficients, it is preferable to measure the temperature at a stated part of the tube rather than to measure the ambient temperature. This is because of the large variation in cooling efficiency with the rate of flow and turbulence of the cooling medium.

It is also necessary to maintain steady conditions for a sufficient time to ensure that all parts of the tube have reached their equilibrium temperature.

2.1 Forced cooling

When forced cooling is required the following should be quoted:

- a) type of coolant;
- b) method of application;

- c) débit ou différence de pression entre l'entrée et la sortie dans des conditions ambiantes données;
- d) limites de la température à l'entrée ou à la sortie;
- e) température maximale admissible à un endroit donné du corps du tube.

3. **Pressurisation**

Lorsqu'une pressurisation est nécessaire, les points suivants doivent être considérés avant et pendant le fonctionnement du tube:

- a) Le système doit être propre et exempt de condensation; il doit, de plus, présenter une étanchéité suffisante pour assurer la pureté du gaz.
- b) Les limites minimales ou maximales de la pression de gaz que les composants pour hyperfréquences peuvent subir sans détérioration ni déformation mécanique doivent être respectées.
- c) La nature, la pureté, le degré hygrométrique et la température du gaz doivent se trouver à l'intérieur de limites précisées.

Précautions à prendre

En présence d'arcs, certains gaz utilisés pour la pressurisation se dissocient et dégagent des quantités de gaz toxiques; une bonne aération est donc essentielle.

4. **Dangers de radiations**

4.1 *Rayonnement radiofréquence*

La puissance en radiofréquence peut être émise non seulement à travers le dispositif de couplage normal de sortie, mais aussi à travers d'autres ouvertures (par exemple, fuites). Cette puissance en radiofréquence peut être suffisamment intense pour être dangereuse pour le corps humain et notamment pour les yeux. Un tel rayonnement peut être encore plus intense si le tube ne fonctionne pas correctement. Si l'on observe le dispositif pour n'importe quelle raison, par exemple pour relever la température de la cathode, ou pour surveiller les arcs éventuels, la vue de l'opérateur peut être endommagée. S'il est indispensable de procéder à de telles observations, un écran adéquat contre le rayonnement r.f. doit être utilisé.

Un tel écran pourrait consister en une toile en fil de cuivre, à petites mailles par rapport à la longueur d'onde du rayonnement; les observations peuvent être également faites à travers un petit trou ou un tube atténuateur monté dans la paroi du guide de sortie, par exemple à un coude convenable.

En général, l'absorption du rayonnement par le corps humain est d'autant plus importante que la longueur d'onde est plus petite et par conséquent, pour une puissance donnée, le danger varie considérablement avec la longueur d'onde.

Sous certaines conditions de fonctionnement, il peut y avoir des rayonnements parasites à des longueurs d'onde plus petites que celle propre au fonctionnement du tube.

4.2 *Rayons X*

Une intensité dangereuse de rayons X peut être émise par des tubes qui fonctionnent à des tensions supérieures à 5 kV. Une protection suffisante (un blindage contre les rayons X) est alors indispensable pour l'opérateur. Des indications relatives à l'intensité éventuelle de rayons X doivent toujours être données.

Lorsque des observations visuelles sont faites à travers une ouverture, il importe de fournir une protection aux yeux; par exemple, en intercalant un verre au plomb approprié.

L'expérience a montré que l'intensité des rayons X émis peut correspondre à une valeur de tension beaucoup plus élevée que celle réellement appliquée.

- c) rate of flow, or pressure difference between inlet and outlet at stated ambient conditions;
- d) limits of inlet or outlet temperature;
- e) maximum permitted body temperature of the tube at a stated point.

3. **Pressurizing**

When pressurizing is required, the following items should receive attention before and during operation of the tube:

- a) The system shall be clean and free from condensate and be capable of adequate sealing to maintain gas purity.
- b) The minimum or maximum limits of gas pressure to which the microwave components can be subjected without damage or mechanical distortion shall be observed.
- c) The nature, purity, dryness and temperature of the gas shall be within stated limits.

Precaution

In the presence of arcing, certain gases used in pressurization dissociate and release quantities of toxic gas; adequate ventilation is therefore essential.

4. **Radiation dangers**

4.1 *R.F. radiation*

R.F. power may be emitted not only through the normal output coupling but also through other apertures (for example, leaks). This r.f. power may be sufficiently intense to cause danger to the human body, particularly to the eyes. Such radiation may be increased if the tube is functioning incorrectly. Looking into the device for any reason, e.g. observation of cathode temperature or possible arcing, may seriously endanger the eyesight. If it is essential to make such observations, adequate r.f. screening must be provided.

Screening may be by the use of copper gauze whose mesh is small compared with the radiation wavelength; alternatively, observations may be made through a small hole or an attenuating tube set in the wall of the output waveguide, e.g. at a suitable bend.

In general, the absorption of radiation by body tissues is a function of the wavelength and, for comparable radiated power, the danger may vary considerably with wavelength.

In certain conditions of operation there may be unwanted radiations at wavelengths shorter than that for the proper mode of operation.

4.2 *X-radiation*

A highly dangerous intensity of X-rays may be emitted by tubes operating on voltages higher than approximately 5 kV. Adequate protection (X-ray shielding) for the operator is then necessary. Information concerning the possible intensity of X-rays should always be provided.

When visual observations are being made through an aperture, it is important to provide protection to the eye; for example, by interposing a suitable piece of lead glass.

There is evidence that the emission intensity of X-rays may correspond to a value of applied voltage much higher than that expected from the actual value applied to the anode.

CHAPITRE II : MESURES GÉNÉRALES POUR L'ENSEMBLE DES DISPOSITIFS

5. Puissance

5.1 Puissance de sortie moyenne en radiofréquence

La puissance de sortie moyenne est mesurée, le tube fonctionnant dans des conditions définies.

La mesure de la puissance peut être effectuée indifféremment par l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes:

Première méthode – Méthode directe – Méthode calorimétrique

Dans le cas de cette méthode, il est entendu que la totalité de la puissance de sortie doit être dissipée sous forme de chaleur dans une charge calorimétrique. Les dispositions à prendre pour la mesure de la dissipation de la chaleur doivent être telles que les pertes r.f. et thermiques soient évitées. Par exemple, lorsqu'un liquide représente la charge ou la refroidit, la formule suivante est applicable:

$$P = c(t_2 - t_1)m$$

où: P = puissance de sortie en watts

t_1 = température du liquide à l'entrée en °C

t_2 = température du liquide à la sortie en °C

c = chaleur spécifique du liquide en joules par kilogramme degré

m = débit du liquide en kilogramme par seconde.

Deuxième méthode – Méthode indirecte – Méthode bolométrique (thermistances, barreters, etc.)

Pour la mesure de la puissance de sortie, des wattmètres utilisant des dispositifs sensibles à la température tels que des barreters et des thermistances doivent, de préférence, être utilisés.

Le dispositif et sa monture doivent être étalonnés par rapport à un appareil de mesure de puissance étalon. Comme les barreters sont facilement abîmés par surcharge, ils ne sont pas recommandés pour la mesure de puissance en régime d'impulsions.

Lorsque le pont est équilibré, le montage doit présenter une bonne adaptation afin d'assurer l'exactitude des mesures sur toute la largeur de bande désirée. Si les conditions de meilleure adaptation du bolomètre et de sortie maximale du bolomètre ne coïncident pas, la condition de sortie maximale du bolomètre peut être utilisée pourvu que des précautions soient prises pour s'assurer qu'il n'y a pas d'effet de désadaptation non désirée.

Précautions

- a) Si la monture pour la mesure ou l'indication de la puissance est accordable, un isolateur, un coupleur directif ou un atténuateur doit être intercalé entre la monture et le tube pour éviter un entraînement de fréquence ou une variation de la réflexion présentée au tube par le circuit de charge et causé par l'accord.
- b) L'emploi d'un pont à auto-équilibrage est préférable, afin d'éviter sur d'autres mesures les effets d'ondes stationnaires produites par des variations de la résistance.
- c) Des erreurs de mesure d'un pourcentage important peuvent se produire aux plus hautes fréquences à cause des pertes dans la monture par suite des pertes thermiques du bolomètre et de la différence de distribution de la température du bolomètre en puissance de substitution comparée à la puissance en hyperfréquences. Ces erreurs ne peuvent être éliminées que par comparaison à un étalon.
- d) L'étalonnage de coupleurs directifs et d'autres éléments d'atténuation doit être exécuté avec le bolomètre adapté et dans les mêmes conditions de température ambiante que celles des mesures.

CHAPTER II: GENERAL MEASUREMENTS FOR ALL DEVICES

5. Power

5.1 Mean r.f. output power

The mean output power is measured with the tube operating under stated conditions.

The measurement of power may be made by either of the methods given below.

Method 1 – Direct method – Calorimetric method

In this method it is intended that the whole of the output power be dissipated as heat in a calorimetric load. Provisions for measuring the rate of dissipation of this heat should be such that r.f. and thermal losses are avoided. For example, where a liquid forms or cools the load, the following equation applies:

$$P = c(t_2 - t_1)m$$

where: P = output power in watts

t_1 = temperature of ingoing liquid in °C

t_2 = temperature of outgoing liquid in °C

c = specific heat capacity of liquid in joules per kilogram degree

m = rate of flow of liquid in kilograms per second.

Method 2 – Indirect method – Bolometric method (thermistors, barretters, etc.)

For the measurement of output power, power meters using temperature-sensitive devices such as barretters or thermistors should preferably be used.

The device and its mount should be calibrated relative to a known standard power-measuring device. As barretters are easily damaged by overloading, they are not recommended for the measurement of power under pulsed conditions.

With the bridge at balance, the mount shall be matched to ensure accurate measurements over the required bandwidth. If the conditions of best bolometer match and maximum bolometer output do not coincide, the condition of maximum bolometer output may be used provided that precautions are taken to ensure that no unwanted mismatch effects occur.

Precautions

- a) If the power measuring or indicating instrument is tunable, an isolator, directional coupler, or attenuator should be inserted between the instrument and the tube in order to prevent tuning from causing frequency pulling or variation of the reflection coefficient of the load circuit.
- b) It is preferable to use a self-balancing bridge to avoid the effects on other measurements of standing waves caused by resistance changes.
- c) Considerable errors in the measurement results may arise at the higher frequencies because of the effect of losses in the mount, including thermal losses from the bolometer, and the difference in the bolometer temperature distribution with the substitution power as compared with the microwave power. These errors can be eliminated only by calibration against a standard.
- d) The calibration of directional couplers and other attenuating elements should be undertaken with the bolometer matched and in the same environment as will apply during the measurements.

- e) Le dispositif de mesure de puissance doit avoir une inertie suffisante c'est-à-dire qu'il ne doit pas être sensible à des fluctuations rapides de la puissance. Ceci est particulièrement important dans le cas d'un fonctionnement en impulsions et pour les tubes alimentés en courant alternatif.

5.2 Puissance de sortie en impulsions

Elle peut être obtenue en mesurant:

- a) la puissance moyenne de sortie selon le paragraphe 5.1, et
b) le facteur d'utilisation.

La puissance de sortie en impulsions est alors:
$$\frac{\text{puissance de sortie moyenne}}{\text{facteur d'utilisation}}$$

5.3 Puissance crête de sortie (puissance de sortie non compris les pointes)

Pour cette mesure, un voltmètre de crête à diodes est couplé faiblement à la sortie au moyen de coupleurs directifs appropriés à la ligne de sortie. Le voltmètre relève la valeur de crête de la tension correspondant à la puissance de sortie. Le voltmètre doit être étalonné en puissance d'onde entretenue (sans modulation) dans la plage désirée.

Si l'on ne dispose pas d'une source d'alimentation en onde entretenue d'une puissance suffisante pour permettre l'étalonnage jusqu'à la valeur de crête désirée, la courbe d'étalonnage du voltmètre pour un niveau de puissance plus bas peut être étendue au niveau désiré en ajoutant des coupleurs directifs étalonnés appropriés. Dans ce cas, la linéarité de la réponse de l'amplitude du voltmètre de crête jusqu'à la plage d'indications désirée doit être vérifiée pour la fréquence de mesure considérée.

Précautions

- a) La constante de temps d'entrée du dispositif de mesure de puissance de crête doit être suffisamment grande pour exclure les pointes.
b) La constante de temps du circuit de sortie à travers lequel la tension est redressée doit être plus grande que l'intervalle entre les crêtes consécutives du signal redressé, d'une valeur suffisante pour être assuré qu'une augmentation ultérieure de la constante de temps ne modifiera pas la valeur indiquée.

5.4 Stabilité de puissance

La puissance de sortie (P_1) est mesurée comme il est décrit au paragraphe 5.1 ci-dessus. L'alimentation H.T. est coupée pendant un intervalle de temps spécifié; elle est ensuite appliquée de nouveau sans nouveau réglage et la puissance de sortie (P_2) est mesurée après que l'équilibre de la température a été atteint.

La stabilité de la puissance est donnée par l'expression suivante:

$$\left[1 - \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} \right] \times 100 \%$$

5.5 Stabilité d'émission

Le tube fonctionne dans des conditions données et la valeur de la puissance de sortie du courant cathodique ou de la fréquence est mesurée. La tension (ou le courant) de chauffage est ensuite diminuée d'une valeur donnée et la valeur de la puissance de sortie, du courant cathodique ou de la fréquence, est mesurée de nouveau après un délai fixé. La variation de la quantité mesurée donne une indication sur la stabilité de l'émission.

- e) The power measuring device should have sufficient inertia, i.e. it should be insensitive to rapid power fluctuations. This is particularly important in pulse operation and in tubes with an a.c. supply.

5.2 *Pulse output power*

This is obtained by measuring:

- a) the mean output power as in Sub-clause 5.1, and
b) the duty factor.

$$\text{Then pulse output power} = \frac{\text{mean output power}}{\text{duty factor}}$$

5.3 *Peak output power (peak envelope power)*

In this measurement a peak-reading diode voltmeter is loosely coupled through suitable directional couplers to the output line. The voltmeter reads the peak value of the voltage corresponding to the output power. The voltmeter should be calibrated with c.w. (unmodulated) power within the desired range.

If a c.w. power source of enough power to permit calibration up to the desired peak value is not available, the calibration curve of voltmeter reading versus power obtained at a lower level may be extended to the desired level by the addition of suitable calibrated directional couplers. In this case, linearity of the amplitude response of the peak-reading voltmeter up to the desired range of indication should be assured for the frequency of measurement.

Precautions

- a) The input time constant of the peak-power meter shall be sufficiently long to exclude spikes.
b) The time constant of the output circuit, across which the rectified voltage appears, should be sufficiently longer than the interval between successive peaks occurring in the modulated signal to ensure that further increase in time constant does not change the indicated value.

5.4 *Power stability*

The output power (P_1) is measured as in Sub-clause 5.1 above. The H.T. supply is switched off for a stated period of time. The H.T. is then re-applied without further adjustment and the output power (P_2) is measured again after temperature equilibrium has been reached.

The power stability is expressed as:

$$\left[1 - \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} \right] \times 100\%$$

5.5 *Emission stability*

The tube is operated under stated conditions and the output power, cathode current, or frequency is measured. The heater or filament voltage is then lowered by a stated amount and the output power, cathode current or frequency is again measured after a stated interval of time. The change in the measured quantity is a measure of the emission stability.

5.6 *Sensibilité d'amplitude à la variation de tension d'électrode*
(Coefficient AM/ ΔV , ou ΔV -AM, ou sensibilité d'amplitude.)

5.6.1 *Sensibilité de la puissance de sortie à la variation de tension d'une électrode*

Le tube fonctionne dans des conditions données. Quand l'équilibre de température est obtenu, la puissance de sortie est mesurée, la tension de l'électrode désignée est alors modifiée d'une certaine quantité et la puissance de sortie est mesurée quand l'équilibre de température est obtenu.

Le résultat de la mesure est exprimé en watts par volt ou en décibels par volt, ou par le rapport de la variation de puissance à la variation de tension d'électrode qui l'a provoquée.

5.6.2 *Sensibilité de la puissance de sortie à la modulation de la tension d'une électrode*

Le tube fonctionne dans des conditions données. Quand l'équilibre de température est obtenu, la tension de l'électrode désignée est modulée d'une quantité donnée et la variation résultante de la puissance de sortie est mesurée. Le taux de variation de la tension doit être assez élevé pour exclure de nouveaux effets thermiques.

Le résultat de la mesure est exprimé en watts par volt ou en décibels par volt, ou par le rapport de la variation de puissance à la variation de tension d'électrode qui l'a provoquée.

5.7 *Sensibilité de la fréquence aux variations de tension d'électrode*
(Coefficient FM/ ΔV , ou ΔV -FM, ou sensibilité de fréquence.)

Le tube fonctionne dans des conditions données. La tension d'électrode donnée est périodiquement variée à une rapidité telle que les effets thermiques puissent être négligés. On utilise, pour montrer la fréquence en fonction de la tension d'électrode, un discriminateur de fréquence et un oscilloscope calibré. Le coefficient fréquence tension est alors déduit de la pente de la courbe observée sur l'oscilloscope.

6. **Impulsions**

Les appareils de mesure doivent être disposés de façon telle que la distorsion introduite par leur présence soit négligeable.

Pour la mesure des performances d'un tube modulé en impulsions, il est nécessaire de définir les caractéristiques de l'impulsion de tension appliquée, la forme de l'impulsion du courant dans le tube et l'enveloppe de l'impulsion de sortie résultante.

Comme la relation entre les diverses amplitudes d'impulsions de courant, de tension et de sortie est fonction de la nature de l'interaction électronique, on doit utiliser les définitions d'impulsion applicables au type de tube considéré.

6.1 *Caractéristiques des impulsions de tension (appliquée)*

Les caractéristiques des impulsions de tension peuvent être mesurées par toute méthode convenable y compris soit:

- a) la méthode du voltmètre de crête à diode, soit
- b) la méthode de l'oscilloscope.

Pour ces deux méthodes, l'appareil de mesure peut être branché directement aux bornes de la tension à mesurer ou bien, si de hautes tensions rendent difficile le branchement direct, on peut utiliser un pont diviseur, résistif ou capacitif. Le choix de la méthode dépend de la valeur de la tension de crête à mesurer, des caractéristiques des impulsions, ainsi que de l'effet du branchement de l'appareil comme partie de la charge, sur l'alimentation.

5.6 *Amplitude sensitivity to electrode voltage variation*
(AM/ ΔV , or ΔV -AM coefficient, or amplitude sensitivity.)

5.6.1 *Output power sensitivity to variation of an electrode voltage*

The tube is operated under stated conditions. When thermal stability is achieved the output power is measured, the voltage at a stated electrode is then varied by a stated amount and the resultant output power is measured when thermal stability is achieved.

The result of the measurement is expressed in watts per volt, or decibels per volt, or as the ratio of a change in power to the causative change in electrode voltage.

5.6.2 *Output power sensitivity to modulation of an electrode voltage*

The tube is operated under stated conditions. When thermal stability is achieved the voltage at a stated electrode is modulated by a stated amount and the consequent variation in output power is measured. The rate of change of voltage must be high enough to exclude thermal effects.

The result of the measurement is expressed in watts per volt, or decibels per volt, or as the ratio of change in power to the causative change in electrode voltage.

5.7 *Frequency sensitivity to electrode voltage variations (C.W. operation)*
(FM/ ΔV , or ΔV -FM coefficient, or frequency sensitivity.)

The tube is operated under stated conditions. The stated electrode voltage is periodically varied at such a rate that thermal effects may be neglected. A frequency discriminator and a calibrated oscilloscope are used to display the frequency as a function of the electrode voltage. The voltage coefficient of frequency is then derived from the slope of the curve observed on the oscilloscope.

6. **Pulse characteristics**

The measuring devices should be so arranged that pulse distortion introduced by their presence is negligible.

In the measurement of the performance of a pulse-modulated tube it is necessary to establish the characteristics of the applied voltage pulse, the pulse waveform of the current drawn by the tube and the envelope of the resulting output pulse.

Because the relative amplitudes of the current, voltage and output pulses depend upon the nature of the electronic interaction, the pulse definitions applicable to the particular tube type should be used.

6.1 *Voltage pulse characteristics (applied)*

Measurement of the voltage pulse characteristics may be made by any suitable method, including either:

- a) peak diode voltmeter method, or
- b) C.R.O. display method.

Both of these methods may be used with the instrument connected directly across the circuit being measured or, where high voltages make this impracticable, a resistive or capacitive dividing network may be used. The choice of method will depend on the value of the peak voltage being measured and on the characteristics of the pulses as well as on the effect of the instrumentation, as part of the load, upon the supply.

Première méthode — Méthode au voltmètre de crête à diode

Pour la mesure de l'amplitude des impulsions répétitives, l'emploi du circuit pour le voltmètre de crête à diode indiqué à la figure 1, page 58, est conseillé. La tension de crête inverse limite de la diode en régime d'impulsions doit être supérieure à la tension d'impulsion maximale à mesurer, augmentée de la tension de l'onde inverse éventuelle qui pourrait se produire. En général, cette méthode est applicable à des tensions d'impulsions inférieures à 35 kV environ.

La diode doit être choisie pour pouvoir fournir un courant suffisant sous sa tension de chauffage nominale. La charge capacitive apportée au générateur d'impulsions sera constituée par la capacité de la diode augmentée de la capacité du transformateur de chauffage du filament, ce dernier devant être suffisamment isolé pour pouvoir supporter la tension d'impulsion.

La constante de temps RC doit être supérieure à l'intervalle entre deux impulsions d'au moins deux ordres de grandeur. La résistance R doit être choisie telle qu'elle charge peu le générateur d'impulsions; elle a généralement une valeur de plusieurs centaines de mégohms. Le condensateur doit avoir une tension limite supérieure à la valeur de la tension à mesurer et, afin de diminuer les effets d'induction néfastes, doit être un condensateur de type R.F. (généralement disponible seulement en valeurs basses) qui sera monté en parallèle sur le condensateur principal.

Le circuit peut être étalonné avec une tension continue ou à l'aide d'une résistance de valeur connue et d'un appareil calibré avec précision. Il est recommandé également d'employer la méthode de vérification à l'oscilloscope pour contrôler la distorsion éventuelle de la forme de l'impulsion qui pourrait introduire des effets indésirables.

L'extension de cette méthode à des tensions supérieures à 35 kV environ est illustrée dans la figure 2, page 58, dans laquelle un pont diviseur à résistances est employé. Les résistances R_a et R_b doivent être non inductives et doivent être choisies de valeurs telles que la diode fonctionne à l'intérieur de ses limites de tension. Il peut être nécessaire d'ajouter des condensateurs C_a et C_b tels que les constantes de temps des deux parties du diviseur soient égales. L'impédance effective du circuit de la diode est en parallèle sur R_b et C_b pendant la durée de l'impulsion, et il doit être tenu compte de son influence. Afin de limiter la distorsion de l'impulsion, la constante de temps constituée par la capacité d'entrée et par la résistance d'entrée de tout le circuit du voltmètre de crête doit être très inférieure à la durée de l'impulsion.

Si une pointe se produit sur l'impulsion de tension, il convient d'ajouter une résistance en série avec le voltmètre de crête (voir figure 3, page 59). La valeur correcte de cette résistance R_c est déterminée au mieux en relevant la courbe de variation de l'indication de l'appareil par rapport à l'augmentation de la résistance (voir figure 4, page 59).

La précision peut être améliorée si les composants du circuit et du shunt utilisés sont, soit enfermés dans un boîtier thermostaté étanche à la poussière et muni de dispositifs appropriés pour le montage, soit disposés dans un bain d'huile pour supprimer l'effet corona.

Deuxième méthode — Méthode d'observation à l'oscilloscope

L'oscilloscope avec un diviseur convenable peut être utilisé pour la mesure des caractéristiques d'impulsion, par exemple la durée, le temps de montée, le temps de descente et l'amplitude.

Des détails sur quelques circuits diviseurs convenables sont donnés ci-dessous:

a) Circuit diviseur résistif (voir figure 5, page 60)

La résistance totale doit être suffisamment faible pour éviter des erreurs dues à la capacité d'entrée de l'oscilloscope; en pratique une valeur comprise entre 10 000 et 40 000 ohms s'est avérée satisfaisante. La dissipation dans le pont diviseur est supérieure à celle que l'on pourrait attendre en supposant une impulsion à sommet plat, et il est recommandé de prévoir un facteur de 2,5 fois la dissipation présumée. Il faut veiller à ce que les effets de

Method 1 – Peak diode voltmeter method

For measurement of the amplitude of repetitive pulses the peak diode voltmeter circuit as shown in Figure 1, page 58, is recommended. The peak inverse voltage rating of the diode under pulsed conditions should exceed the maximum pulse voltage plus any backswing voltage which may occur. In general practice, the application of this method is limited to pulse voltages below approximately 35 kV.

The diode should be chosen to have adequate current carrying capacity at its nominal heater voltage. The capacitive load on the pulse generator will be the capacitance of the diode plus the capacitance of the heater transformer, which should be suitably insulated to withstand the pulse voltage.

The time constant RC should be at least two orders of magnitude greater than the time between pulses. The resistor R should be chosen so that the load on the pulse generator is small and will usually have a value of many hundreds of megohms. The capacitor should have a voltage rating greater than the value of the pulse amplitude to be measured and, in order to reduce serious inductive effects, should be made up of an r.f. type of capacitor (generally available only in small values) in parallel with the main capacitor.

The circuit may be calibrated with a d.c. voltage or by a resistor of known value and an accurately calibrated current meter. It is also recommended that the C.R.O. display method be used to check against deformation of the pulse shape, which may introduce undesirable effects.

The extension of this method to voltages higher than about 35 kV is shown in Figure 2, page 58, which uses a resistor divider network. The resistors R_a and R_b should be non-inductive and should be chosen so that the diode operates within its voltage rating. It may be necessary to insert capacitors C_a and C_b such that the time constants of the two sections of the divider are equal. The effective impedance of the diode circuit is in shunt with R_b and C_b during the pulse and its effect should be taken into account. In order to minimize the distortion of the pulse, the time constant of the input capacitance of the whole peak voltmeter circuit and its input resistance should be much smaller than the pulse duration.

If a spike occurs on the voltage pulse, resistance should be added in series with the peak voltmeter (see Figure 3, page 59). The correct value of this resistance R_c can best be determined by observing the change in meter reading with increase in resistance (see Figure 4, page 59).

The accuracy may be improved if the components of the circuit and shunt used are enclosed in a dust-free, temperature-regulated compartment, with suitable mounting arrangements or oilbaths to avoid corona.

Method 2 – Cathode-ray oscilloscope (C.R.O.) display method

The C.R.O., with a suitable divider, can be used to measure the characteristics of the pulse shape, e.g. duration, rise time, fall time and amplitude.

Details of suitable divider circuits are as follows:

a) Resistive divider circuit (see Figure 5, page 60)

The total resistance should be kept low enough to avoid errors caused by the input capacitance of the C.R.O.; in practice a range of 10 000 to 40 000 ohms has been found satisfactory. The dissipation within the divider network is higher than would be expected with a flat-top pulse, and a factor of 2.5 times the expected dissipation is recommended. Care should be taken to reduce the effects of inductance by the use of suitable resistors (e.g.

l'inductance soient réduits en utilisant des résistances adoptées (par exemple, des résistances à couche de carbone) ainsi que l'effet corona en utilisant des montages convenables ou bien des bains d'huile, si nécessaire.

Le câble de l'oscilloscope doit être adapté aux deux extrémités pour éviter toute distorsion de l'oscillogramme. Si cela n'est pas possible, il faut ajouter une résistance en série avec le câble, du côté où est prélevé le signal. Un éclateur convenable doit être prévu afin de protéger l'opérateur et l'oscilloscope contre les hautes tensions si le pont diviseur venait à se mettre en circuit ouvert.

b) *Circuit diviseur capacitif* (voir figure 6, page 60)

Ce type de circuit est particulièrement utile pour des durées d'impulsions très courtes. Son emploi pour des durées plus longues est limité par le degré de chute du palier qui peut être toléré.

Le diviseur comprend un condensateur C_1 développant une tension élevée, en série avec un condensateur C_2 développant une faible tension, le rapport du diviseur étant approximativement inversement proportionnel au rapport des valeurs des condensateurs. Le pont diviseur est branché à l'oscilloscope par l'intermédiaire d'une résistance d'adaptation série R , un câble coaxial et, si nécessaire, un condensateur d'arrêt C_3 . La résistance d'entrée de l'oscilloscope doit être supérieure à R de deux ou trois ordres de grandeur. Le condensateur C_1 a normalement une valeur comprise entre 2 et 10 pF et doit être blindé pour éviter les perturbations parasites. Le diélectrique peut être de la céramique, de la résine, de l'huile, ou le vide, selon la tension de fonctionnement. Le condensateur C_2 doit avoir une inductance très basse et un éclateur de sécurité doit être branché aux bornes de ce condensateur. Le pont diviseur peut être étalonné par d'autres méthodes définies, par exemple la méthode du diviseur résistif ou celle du voltmètre de crête correspondant à la gamme voulue en utilisant une impulsion de durée convenable et en réduisant au minimum les erreurs dues aux caractéristiques des méthodes utilisées.

Pour des durées d'impulsion descendant jusqu'à 0,05 microseconde environ, la longueur du câble coaxial ne doit pas dépasser celle qui correspond à un temps de transit aller et retour d'environ $1/10$ de la durée d'impulsion. Pour des durées d'impulsion inférieures à 0,05 microseconde environ la longueur du câble devient pratiquement trop petite et le diviseur peut être monté directement sur l'oscilloscope.

c) *Circuit diviseur équilibré* (voir figure 7, page 61)

Ce type de circuit est particulièrement utile lorsque la forme de l'impulsion devra être reproduite très fidèlement.

Le diviseur comprend une partie haute tension R_1 et C_1 , une partie faible tension R_2 et C_2 et les composants adaptés de l'oscilloscope. Les constantes de temps de chacune des parties, y compris les effets des impédances parasites, doivent être égales. Habituellement la valeur de R_2 est choisie égale à celle de l'impédance caractéristique de la ligne de couplage entre le pont diviseur et l'oscilloscope. Dans ce cas, la résistance R_3 du schéma est zéro et $R_4 = R_2$. Cela donne un rapport de division $2R_1/R_2 = C_2/C_1$. Les constantes de temps des deux circuits sont respectivement $R_1 C_1$ et $1/2 R_2 C_2$.

Lorsque l'appareillage dont on dispose exige une valeur de R_2 inférieure à celle de l'impédance du câble connecteur Z_0 , une résistance supplémentaire non réactive R_3 doit être ajoutée au câble du côté où le signal est prélevé. Le rapport de division est:

$$\frac{R_2 R_4}{R_1 (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 (R_3 + R_4)}$$

Les constantes de temps sont alors $R_1 C_1$ et $R' C_2$ où

$$R' = \frac{R_2 (R_3 + R_4)}{(R_2 + R_3 + R_4)}$$

Ce circuit est difficilement utilisable lorsque R_2 est supérieure à Z_0 du câble.

deposited-film carbon resistors) and of corona by the use of suitable mounting arrangements or oil baths where required.

The connecting cable to the C.R.O. should be matched at both ends in order to avoid distortion in the display. When this cannot be done a resistance must be added in series with the sending end of the cable. A suitable spark gap should be included in order to protect the operator and the C.R.O. from high voltage if the divider network becomes open circuited.

b) *Capacitive divider circuit* (see Figure 6, page 60)

This is particularly useful at very short pulse duration. Its use for longer pulse duration is restricted by the amount of pulse droop which can be tolerated.

The divider is made up of a capacitor C_1 developing a high voltage in series with a capacitor C_2 developing a low voltage, the divider ratio being approximately inversely proportional to the ratio of the capacitances. The divider network is connected to the C.R.O. through a series matching resistor R , a coaxial cable and, if necessary, a blocking capacitor C_3 . The input resistance of the C.R.O. should be two or three orders of magnitude larger than R . The capacitor C_1 has a value usually in the range of 2 to 10 pF and should be shielded to avoid stray pickup. The dielectric may be ceramic, resin, oil or vacuum, as required by the working voltage. The capacitor C_2 should have very low inductance and a safety spark gap should be connected across this capacitor. The divider circuit may be calibrated using other methods described; for example, the resistive divider or peak voltmeter method within its range, using a suitable pulse duration and with the errors caused by the known characteristics of the methods minimised.

For pulse durations down to about 0.05 microsecond, the length of the coaxial cable should not exceed that which has a two-way transit time of about $\frac{1}{10}$ of the pulse duration. For pulse durations below about 0.05 microsecond, the cable length becomes impracticably short and the divider may then be mounted directly on the C.R.O.

c) *Balanced divider circuit* (see Figure 7, page 61)

This is particularly useful when the pulse waveform is to be faithfully reproduced in detail.

The divider consists of a high voltage section R_1 and C_1 , and a low voltage section R_2 and C_2 , and the C.R.O. matching components. The time constants of the two sections, including the effects of stray impedances must be equal. Usually, the value of R_2 is made equal to the characteristic impedance of the coupling line between the divider network and the C.R.O. In this case the resistance R_3 in the diagram is zero, and $R_4 = R_2$. This gives a division ratio $2R_1/R_2 = C_2/C_1$. The time constants of the two circuits are $R_1 C_1$ and $\frac{1}{2} R_2 C_2$ respectively.

When available equipment requires that the value of R_2 be less than the connector cable impedance Z_0 , an additional non-reactive resistor R_3 must be added at the sending end of the cable. The division ratio is:

$$\frac{R_2 R_4}{R_1 (R_2 + R_3 + R_4) + R_2 (R_3 + R_4)}$$

The time constants are then: $R_1 C_1$ and $R' C_2$, where

$$R' = \frac{R_2 (R_3 + R_4)}{(R_2 + R_3 + R_4)}$$

It is difficult to use this circuit when R_2 exceeds Z_0 of the cable.