

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60151-9

Première édition
First edition
1966-01

**Mesures des caractéristiques électriques
des tubes électroniques**

**Partie 9:
Méthodes de mesure de l'impédance d'interface
de cathode**

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

**Part 9:
Methods of measuring the cathode-interface
impedance**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60151-9: 1966

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**

60151-9

Première édition
First edition
1966-01

**Mesures des caractéristiques électriques
des tubes électroniques**

**Partie 9:
Méthodes de mesure de l'impédance d'interface
de cathode**

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

**Part 9:
Methods of measuring the cathode-interface
impedance**

© IEC 1966 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

R

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Objet	6
2. Définitions	6
3. Théorie	8
4. Conditions générales de mesure	10
5. Appareillage de mesure	10
6. Comportement de l'appareillage et procédé d'étalonnage	12
7. Mode opératoire	16
ANNEXE A – Méthode du pont à réseau complémentaire	18
ANNEXE B – Méthode de l'admittance parallèle	20
ANNEXE C – Méthode de comparaison avec un tube étalon	22
ANNEXE D – Méthode de comparaison différentielle	24
ANNEXE E – Méthode des oscillations entretenues	26
ANNEXE F – Méthode de mesure de la résistance totale de revêtement et d'interface de cathode en basse fréquence	28
FIGURES	32

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60151-9:1966

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Definitions	7
3. Theory	9
4. General measurement conditions	11
5. Measuring equipment	11
6. Equipment performance and calibration procedure	13
7. Operating procedures	17
APPENDIX A – Complementary network bridge method	19
APPENDIX B – Shunt admittance method	21
APPENDIX C – Standard tube or valve comparison method	23
APPENDIX D – Differential comparison method	25
APPENDIX E – Continuous wave method	27
APPENDIX F – Low-frequency method of measuring total cathode coating and interface resistance	29
FIGURES	32

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60151-9:1966

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MESURES DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES
DES TUBES ÉLECTRONIQUES**

Neuvième partie: Méthodes de mesure de l'impédance d'interface de cathode

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 cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

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

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

Le premier projet fut discuté lors d'une réunion tenue à Interlaken en 1961, à la suite de quoi un projet révisé fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1963.

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

Afrique du Sud	Japon
Belgique	Pays-Bas
Chine (République Populaire de)	Pologne
Corée (République de)	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Italie	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 9: Methods of measuring the cathode-interface impedance

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No.39, Electronic Tubes and Valves.

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

The first draft was discussed at a meeting held in Interlaken in 1961 and as a result a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1963.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Part 9:

Belgium	Netherlands
China (People's Republic of)	Poland
Czechoslovakia	South Africa
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Korea (Republic of)	

MESURES DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DES TUBES ÉLECTRONIQUES

Neuvième partie: Méthodes de mesure de l'impédance d'interface de cathode

1. Objet

- 1.1 Le but principal de cette recommandation est de définir les moyens de mesure de l'impédance d'interface plutôt que de décrire des procédures d'essai précises pour préconditionner, stabiliser et faire fonctionner les tubes à mesurer, bien que l'on sache que les conditions de fonctionnement du tube dans lesquelles la mesure de l'impédance d'interface est faite ont un effet non négligeable sur les résultats obtenus.
- 1.2 De plus, le but de cette recommandation est aussi de fournir les moyens d'évaluer les possibilités de l'appareillage de mesure de l'impédance d'interface en ce qui concerne:
 - 1.2.1 La précision en fonction de la pente du tube en mesure.
 - 1.2.2 La précision en fonction de la valeur de la résistance d'interface.
 - 1.2.3 La précision en fonction de la constante de temps du réseau équivalent à l'interface.
- 1.3 Les méthodes et les procédés de mesure décrits dans cette recommandation sont déterminés pour donner des informations sur les caractéristiques suivantes concernant l'impédance d'interface de cathode des tubes:
 - 1.3.1 La présence de l'impédance d'interface de cathode.
 - 1.3.2 La résistance équivalente de l'impédance d'interface de cathode.
 - 1.3.3 La capacité équivalente de l'impédance d'interface de cathode.

L'article 7 précise les précautions à prendre et les résultats à attendre dans certaines conditions de fonctionnement des tubes en mesure, en ce qui concerne les caractéristiques de l'impédance d'interface.

2. Définitions

2.1 *Impédance d'interface de cathode*

Impédance électrique existant entre le métal de base de la cathode et le revêtement de la cathode.

Note. — Cette impédance peut être due à une couche de matériaux partiellement conducteurs à haute résistivité, ou à une mauvaise liaison mécanique entre le métal de base et le revêtement. On peut la représenter approximativement par un réseau *RC* équivalent.

2.2 *Résistance d'interface de cathode*

Limite en basse fréquence de l'impédance d'interface de cathode.

MEASUREMENTS OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF ELECTRONIC TUBES AND VALVES

Part 9: Methods of measuring the cathode-interface impedance

1. Scope

- 1.1 The main purpose of this Recommendation is to define means by which interface impedance may be measured, rather than to describe precise procedures for pre-processing, stabilizing and operating the tubes or valves to be measured, although the tube or valve operating conditions, under which the measurement of interface impedance may be made, are known to have a substantial effect on the results obtained.
- 1.2 It is also an objective of this Recommendation to describe means for evaluating the performance of interface impedance measuring equipment with respect to:
 - 1.2.1 Accuracy as a function of the transconductance of the tube or valve being measured.
 - 1.2.2 Accuracy as a function of the resistance of the interface.
 - 1.2.3 Accuracy as a function of the time constant of the equivalent interface network.
- 1.3 The measuring methods and procedures described in this Recommendation are designed to provide information on the following cathode-interface impedance characteristics of tubes or valves:
 - 1.3.1 The presence of cathode-interface impedance.
 - 1.3.2 The equivalent resistance of cathode-interface impedance.
 - 1.3.3 The equivalent capacitance of cathode-interface impedance.

Clause 7 outlines precautions to be taken and results to be expected under certain conditions of operation of the tubes or valves being measured for interface impedance characteristics.

2. Definitions

2.1 *Cathode-interface impedance*

An electrical impedance existing between the cathode base metal and the cathode coating.

Note. — This impedance can be the result of a layer of high-resistivity partially conducting material or of a poor mechanical bond between the metallic base and the coating. It can be approximately represented by an equivalent *RC* network.

2.2 *Cathode-interface resistance*

The low-frequency limit of the cathode-interface impedance.

2.3 *Capacité d'interface de cathode*

Capacité qui, en parallèle avec une résistance convenable, constitue une impédance approximativement équivalente à l'impédance d'interface de cathode.

Note. — Comme l'impédance d'interface de cathode ne peut être exactement représentée par un circuit RC à deux éléments, cette valeur de capacité n'est pas unique et dépend de la méthode d'approximation.

2.4 *Impédance de revêtement de cathode*

Impédance, excluant l'impédance d'interface de cathode, entre le métal de base et la surface émissive d'une cathode revêtue.

2.5 *Résistance totale de revêtement et d'interface de cathode*

Résistance effective totale apparaissant dans le revêtement de cathode et la couche d'interface de cathode.

3. **Théorie**

- 3.1 Bien que l'une ou l'autre puisse être négligeable dans des conditions particulières, trois impédances existent toujours entre la surface de la cathode à oxydes d'un tube et sa connexion extérieure : l'impédance de la connexion de cathode, l'impédance d'interface de cathode et l'impédance de revêtement de cathode. Dans ces trois impédances, l'impédance de connexion de cathode est avant tout une réactance inductive, déterminée par la construction mécanique du tube. L'impédance d'interface de cathode et l'impédance de revêtement de cathode dépendent considérablement de l'état chimique de la cathode et en conséquence varient à mesure que le tube vieillit. L'ordre de grandeur de l'impédance de revêtement est relativement constant depuis les basses fréquences audibles jusqu'aux hyperfréquences. Pour des fréquences supérieures, cette impédance est réduite par la diminution de réactance capacitive du revêtement. Au contraire, l'impédance d'interface de cathode évolue entre une résistance pratiquement pure à environ 10 kHz et une réactance essentiellement capacitive à environ 10 MHz. Par effet de rétroaction, cette variation se traduit en une augmentation de pente lorsque la fréquence croît dans cette gamme. Cette variation de pente dans les triodes et les pentodes rend l'impédance d'interface de cathode techniquement importante et procure aussi un moyen de la mesurer.
- 3.2 Puisque l'impédance d'interface de cathode n'est pas pourvue de bornes indépendantes, cette impédance doit être déduite de mesures sur d'autres paramètres du tube. Pour les triodes et les pentodes, on peut utiliser la variation de pente en fonction de la fréquence et pour les diodes, la variation de la résistance interne en fonction de la fréquence. Sur la bande de fréquences dans laquelle l'impédance d'interface de cathode rend la pente fonction de la fréquence, d'autres effets peuvent aussi amener la pente à varier avec la fréquence. La phase de la transadmittance dépend du temps de transit, de l'inductance de la connexion de cathode, de la capacité anode-grille, ainsi que de la fréquence. Tous ces effets doivent être considérés si l'on veut mesurer avec précision l'impédance d'interface de cathode.
- 3.3 L'impédance d'interface de cathode varie avec la température de cathode, avec la densité et la distribution du courant et avec le temps; par exemple, l'impédance d'interface mesurée à un instant déterminé dépend non seulement des conditions de mesure mais aussi de l'histoire entière du tube avant la mesure. Afin d'éviter des modifications dans l'impédance d'interface il est souhaitable que les mesures soient faites dans des conditions qui approchent sensiblement les conditions de fonctionnement réelles, lorsqu'elles sont connues, et que le temps requis pour la mesure ne soit pas indûment prolongé (voir paragraphes 7.1 et 7.3).
- 3.4 L'impédance d'interface de cathode est un réseau à constantes réparties. Toutefois, en pratique, l'impédance d'interface peut être représentée par l'un ou l'autre des circuits équivalents à constantes localisées indiqués sur les figures 1a et 1b, page 32, successivement. Le circuit le plus simple (figure 1a)

2.3 *Cathode-interface capacitance*

A capacitance which, in parallel with a suitable resistance, forms an impedance approximately equivalent to the cathode-interface impedance.

Note. — Because the cathode-interface impedance cannot be represented exactly by a two-element RC circuit, this value of capacitance is not unique and depends upon the method of approximation.

2.4 *Cathode-coating impedance*

The impedance, excluding the cathode-interface (layer) impedance, between the base metal and the emitting surface of a coated cathode.

2.5 *Total cathode coating and interface resistance*

Total effective resistance occurring in the cathode coating and the cathode-interface layer.

3. **Theory**

- 3.1 Although one or more may be negligible under specific conditions, three impedances always exist between the surface of a tube or valve oxide cathode and its external terminal: the cathode-lead impedance, the cathode-interface impedance and the cathode-coating impedance. Of these three impedances, the cathode-lead impedance is primarily that of an inductive reactance which is fixed by the mechanical design of the tube or valve. The cathode-interface impedance and the cathode-coating impedance are determined largely by the chemical state of the cathode and consequently change as a tube or valve ages. The magnitude of the coating impedance is relatively constant from low audio frequencies up to u.h.f. At higher frequencies, the impedance is reduced by the decreasing capacitive reactance of the coating. The cathode-interface impedance, however, changes from an essentially pure resistance at about 10 kHz (kc/s) to an essentially capacitive reactance at about 10 MHz (Mc/s). By feedback action this variation is translated into an increase in transconductance as the frequency increases over this range. This variation of transconductance in triodes and pentodes makes cathode-interface impedance both technically important and provides means for its measurement.
- 3.2 Since the cathode-interface impedance is not provided with an independent set of terminals, this impedance must be deduced from measurements of other tube or valve parameters. For triodes and pentodes the frequency dependence of transconductance can be used and for diodes the frequency dependence of the anode resistance can be used. Over the frequency band in which cathode-interface impedance causes the transconductance to be frequency-sensitive, other effects also cause the transconductance to change with frequency. The phase of the transadmittance is dependent upon transit time, cathode-lead inductance, and grid-anode capacitance as well as on the frequency. All these effects must be considered if the cathode-interface impedance is to be measured accurately.
- 3.3 Cathode-interface impedance varies with cathode temperature, with current density and distribution, and with time, i.e. the interface impedance measured at a given time is affected not only by the conditions of measurement but also by the entire history of the tube or valve prior to the measurement. In order to avoid changes of interface impedance, it is desirable that measurements be made under conditions which are closely approximate to the actual operating conditions when these are known, and that the time taken for the measurement be not unduly protracted. (See Sub-clauses 7.1 and 7.3.)
- 3.4 The cathode-interface impedance is actually a distributed network. However, for practical purposes, the interface impedance may approximately be represented by either of the lumped-constant equivalent circuits shown in Figures 1a and 1b, page 32, respectively. Frequently the simpler circuit

est souvent une approximation satisfaisante. Toutes les méthodes normales de mesure sont fondées sur le fait qu'à une fréquence suffisamment haute, l'impédance de ces circuits tend vers zéro. En pratique, pour des cathodes ayant une surface d'environ 1 cm^2 , la résistance R peut varier de moins de 1 ohm jusqu'à plusieurs milliers d'ohms, et la constante de temps RC être comprise entre 2×10^{-8} et 5×10^{-6} secondes. Les résistances les plus grandes sont en général associées aux plus grandes constantes de temps. Le plus souvent, l'impédance tend vers zéro pour des fréquences supérieures à 30 MHz et tend vers R pour des fréquences inférieures à 10 kHz.

Pour des fréquences inférieures à 100 Hz, l'impédance totale de cathode peut continuer à augmenter à cause de la variation de l'impédance de revêtement de cathode en fonction de la fréquence. Dans les méthodes de mesure de l'impédance d'interface de cathode en oscillations entretenues, des fréquences de 10 MHz et 5 kHz sont souvent utilisées. Pour des mesures de type transitoire, on peut utiliser soit une onde carrée ayant une période de 2×10^{-5} secondes, soit une impulsion rectangulaire de durée 1×10^{-5} secondes. Le temps de croissance et le temps de décroissance dans l'un et l'autre cas doivent être inférieurs ou égaux à 3×10^{-8} secondes.

- 3.5 Un équilibre instable du pont utilisé pour mesurer l'impédance d'interface de cathode peut correspondre à une mauvaise adhérence du revêtement. Cette mauvaise adhérence est souvent accompagnée par une constante de temps courte ou des variations négligeables de l'impédance d'interface lorsqu'on modifie la température de cathode. Ceci est l'opposé des caractéristiques usuelles de l'impédance d'interface pour lesquelles un fort coefficient de température de la résistance et des constantes de temps supérieures à 0,1 microseconde sont courantes. Dans de telles conditions, il est pratiquement impossible d'équilibrer le réseau du pont pour le tube en mesure.

4. Conditions générales de mesure

- 4.1 L'appareillage de mesure de l'impédance d'interface doit être étalonné conformément aux méthodes des paragraphes 6.2 à 6.5 inclus.
- 4.2 Le tube en mesure doit fonctionner dans les conditions données.
- 4.3 La tension de chauffage du tube en mesure doit être maintenue à moins de 1 % de la valeur donnée pour la mesure. Une tension continue stable est recommandée.
- 4.4 Le tube en mesure doit être préchauffé en appliquant uniquement la tension de chauffage utilisée pour la mesure pendant une durée au moins égale à 5 minutes avant d'effectuer la mesure.
- 4.5 Les tubes ne doivent être soumis à aucune autre mesure électrique avant la mesure de l'impédance d'interface.
- 4.6 Les tubes doivent être mesurés dans les conditions de température ambiante du local (20 à 30 °C) sauf indication contraire.

5. Appareillage de mesure

- 5.1 Etant donné les différences considérables entre les diverses méthodes et les divers appareillages couramment utilisés pour mesurer l'impédance d'interface, on ne tentera pas de recommander l'un ou l'autre. La méthode choisie sera dans tous les cas fondée sur la comparaison avec les réseaux d'étalonnage de l'article 6, le choix de la méthode étant laissé libre, pourvu qu'elle réponde à la précision demandée.

Les annexes A à F décrivent six méthodes et indiquent aussi leurs avantages et leurs inconvénients.

Les diverses méthodes diffèrent quelque peu en ce qui concerne leurs possibilités de mesure des im-

(Figure 1a) is a satisfactory approximation. All normal methods of measurement are based on the fact that, at a sufficiently high frequency, the impedance of these circuits approaches zero. In practice, for cathodes having an area of about 1 cm², the resistance (R) may range from less than 1 ohm to several thousand ohms and the time constant (RC) may range from 2×10^{-8} to 5×10^{-6} seconds. The larger resistances tend to be associated with the longer time constants. Ordinarily, the impedance approaches zero at frequencies above 30 MHz (Mc/s) and it approaches R at frequencies below 10 kHz (kc/s).

At frequencies below 100 Hz (c/s), the total cathode impedance may continue to rise because of the frequency dependence of the cathode-coating impedance. In c.w. methods of measuring cathode-interface impedance, frequencies of 10 MHz (Mc/s) and 5 kHz (kc/s) are frequently used. For transient-type measurements, either a square wave having a period of 2×10^{-5} seconds or a rectangular pulse having a duration 1×10^{-5} seconds may be used. The rise time and fall time in each case should be 3×10^{-8} seconds or less.

- 3.5 An unstable balance of the bridge used for the measurement of cathode interface impedance may indicate poor coating adherence. This poor adherence is often accompanied by a short time constant and/or a negligible change in interface impedance when the cathode temperature is varied. This contrasts with the usual characteristics of interface impedance where a large temperature coefficient of resistance and time constants larger than 0.1 microsecond are typical. Under these conditions, it is virtually impossible to achieve correct balancing of the interface bridge network for the tube or valve being measured.

4. General measurement conditions

- 4.1 The interface-impedance measuring equipment should be calibrated in accordance with the procedures of Sub-clauses 6.2 to 6.5 inclusive.
- 4.2 The tube or valve being measured should be operated under given conditions.
- 4.3 The heater voltage for the tube or valve being measured should be controlled within 1% of the value given for the measurement. A stable d.c. source is recommended.
- 4.4 The tube or valve being measured should be preheated by applying only the heater voltage used for the measurement for a period of not less than 5 minutes prior to making the measurement.
- 4.5 Tubes or valves should not be subjected to any other electrical measurements prior to the interface-impedance measurement.
- 4.6 The tube or valve should be measured under room temperature ambient conditions (from 20 to 30 °C) unless otherwise stated.

5. Measuring equipment

- 5.1 Because there is a considerable difference between the various methods and equipments currently used to measure interface impedance, no attempt is made to recommend one or the other. The chosen method will in all cases be based on a comparison with the calibration networks in Clause 6, the choice of the method being left open provided it meets the accuracy requirements.

Six methods are described in the Appendices A to F which also list their advantages and disadvantages.

The various methods differ somewhat in their ability to measure interface impedances with resistances

pédances d'interface ayant des résistances inférieures à 25 ohms et des constantes de temps inférieures à 0,1 microseconde. On doit remarquer qu'un oscilloscope à large bande ayant une réponse sensiblement constante entre 10 kHz et 10 MHz, est nécessaire pour les méthodes décrites dans les annexes A, B et D.

- 5.2 Toutes les méthodes décrites sont des méthodes à faible signal. L'amplitude du signal requis pour attaquer ces circuits n'a pas été indiquée avec précision car elle dépend beaucoup du type de tube. L'amplitude de signal utilisée lors d'une mesure doit être indiquée. Des méthodes à signal important sont utiles pour des buts particuliers. Toutefois, ces méthodes à fort signal peuvent modifier l'impédance d'interface du tube en mesure à moins que le signal ne soit sensiblement identique à celui utilisé dans le fonctionnement normal du tube et elles ne peuvent être recommandées pour une application générale.
- 5.3 Ces mesures étant faites dans des circuits à haute fréquence et large bande, toutes les précautions normales essentielles pour l'utilisation de tels circuits doivent être observées. En particulier, il est essentiel d'éliminer, ou de corriger, les effets des capacités et des inductances parasites qui pourraient fausser les résultats.
- 5.4 En général, les appareillages doivent être étalonnés avec des réseaux fictifs car des tubes ayant de l'impédance d'interface ne sont pas suffisamment stables pour effectuer les mesures d'étalonnage.
- 5.5 Les schémas des circuits, dans les figures 3 à 9, pages 34 à 39, indiquent des valeurs nominales pour les éléments des circuits. Pour la plupart des tubes de réception et des petits tubes d'émission qui utilisent des cathodes à oxydes équipotentielles, les valeurs nominales données seront satisfaisantes.
- Toutefois, certains tubes d'émission demanderont des modifications dans les résistances de charge et les réseaux de polarisation, de façon à fonctionner correctement.

6. Comportement de l'appareillage et procédé d'étalonnage

- 6.1 Chacune des méthodes décrites dans les annexes a été étudiée pour mesurer les caractéristiques électroniques d'un réseau complexe sensible à la fréquence et comportant à la fois des éléments actifs et passifs. En conséquence, pour chaque méthode, les possibilités de déceler et de mesurer avec précision l'impédance d'interface de cathode sont directement liées aux caractéristiques de fonctionnement du tube en mesure. Il est donc nécessaire d'utiliser des réseaux passifs ayant des caractéristiques électriques connues et des tubes ayant des caractéristiques de fonctionnement connues lorsqu'on veut déterminer les possibilités et les limites d'un appareillage de mesure.
- 6.2 Les réseaux décrits dans le tableau ci-après doivent être utilisés pour les étalonnages. Ils doivent être réalisés de façon à réduire les inductances parasites et les capacités parasites et doivent utiliser des résistances à couche. Il faut noter que les quatre premiers réseaux dérivent du circuit de la figure 1a de façon à obtenir de faibles résistances effectives d'interface et, en même temps, à réduire les effets des inductances parasites. La valeur R_1 correspond à la résistance dépendant de la fréquence de ce réseau et pour les quatre premiers réseaux peut s'obtenir en soustrayant de R_1 la résistance équivalant à R_1 et R_2 en parallèle :

$$R_i = R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

La constante de temps τ de chaque réseau est :

$$\tau = C(R_1 + R_2).$$

less than 25 ohms and time constants less than 0.1 microsecond. It should be noted that a wide-band oscilloscope with substantially uniform gain between 10 kHz (kc/s) and 10 MHz (Mc/s) is necessary for the methods described in the Appendices A, B and D.

- 5.2 All the methods described are small-signal methods. The amplitude of the signal required to drive these circuits has not been precisely stated because this varies widely with tube or valve type. The signal amplitude used in a measurement should be stated. Large-signal methods are useful for specialized purposes. However, large-signal methods may alter the interface impedance of the tube or valve being measured unless the signal is substantially identical with that employed in the actual operation of the tube or valve, and these methods cannot be recommended for general application.
- 5.3 Since the measurements are performed in wide-band high-frequency circuits, all the normal precautions essential to the use of such circuitry must be observed. In particular, it is essential to eliminate, or correct for, the effects of stray capacitance and inductance which may otherwise invalidate the measurement.
- 5.4 In general, equipments must be calibrated with dummy networks, because tubes or valves with interface impedance are not stable enough for calibration measurements to be made.
- 5.5 The circuit diagrams in Figures 3 to 9, pages 34 to 39 inclusive, show nominal values for the circuit elements. For most of the receiving and small transmitting tubes or valves which employ unipotential oxide-coated cathodes, the nominal values given will be satisfactory.

Some transmitting tubes or valves, however, will require modifications of load resistances and bias networks in order to allow proper operation.

6. Equipment performance and calibration procedure

- 6.1 Each of the methods described in the appendices has been developed to measure the electronic characteristics of a complex frequency-sensitive network of both active and passive circuit elements. Under such circumstances, the ability of each measuring method to detect and measure accurately the cathode-interface impedance is directly related to the operating characteristics of the tube or valve being measured. Accordingly, it is necessary to use passive networks of known electrical characteristics and tubes or valves of known operating characteristics when the measuring capabilities and limitations of an equipment are being determined.
- 6.2 The networks described in the table below should be used for calibration purposes. They must be constructed to minimize unwanted inductance and stray capacitance and should use film type resistors. Note that the first four networks are an expansion of the circuit of Figure 1a in order to obtain low effective interface resistance while at the same time minimizing the effect of stray inductance. The value R_i refers to the frequency-sensitive resistance of the network and for the first four networks may be obtained by subtracting from R_1 the parallel resistance of R_1 and R_2 :

$$R_i = R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

The time constant τ of each network is:

$$\tau = C(R_1 + R_2).$$

L'impédance du réseau peut alors s'exprimer sous la forme:

$$Z = \frac{R_1}{1 + j \omega \tau} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

où les valeurs caractéristiques sont à remplacer par celles du réseau particulier. Le premier terme dépendant de la fréquence, représente l'impédance d'interface; le deuxième terme est le résidu résistif dû à la réalisation du réseau. Ce résidu, $R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$, ne dépasse pas sensiblement 10 ohms pour ces réseaux. Ce résidu réduit légèrement et de façon uniforme la pente du tube specimen sur toute la gamme de fréquences intéressante; il n'affecte pas les mesures d'impédance d'interface.

Tableau donnant des valeurs de R_1 , R_2 et C dans les réseaux

Réseau	R_1 Ω	R_2 Ω	τ (μs)					R_1 Ω
			0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	
			C pF	C pF	C pF	C pF	C μF	
1	10	38,3	390	1 000	2 000	3 900	0,01	2,07
2	14,7	31,6	390	1 000	2 000	3 900	0,01	4,7
3	21,5	26,1	390	1 000	2 000	3 900	0,01	9,7
4	31,6	17,8	390	1 000	2 000	3 900	0,01	20,3
5	50	0	390	1 000	2 000	3 900	0,01	50
6	100	0	200	500	1 000	2 000	0,005	100
7	200	0	100	250	500	1 000	0,0025	200

La figure 2, page 33, représente la variation normalisée de la partie réelle de l'impédance d'interface en fonction de la fréquence.

- 6.3 Les réseaux du paragraphe 6.2 peuvent être utilisés pour étalonner l'appareillage de mesure en les mettant en série avec la connexion de cathode d'un tube dont on sait qu'il n'a pas d'impédance d'interface (voir l'annexe C) et en faisant fonctionner le réseau et le tube dans l'appareillage de mesure. Les caractéristiques de fonctionnement du tube peuvent agir de façon sensible sur la précision attendue de chacune des méthodes de mesure. Pour déterminer la possibilité d'un appareil de mesure à remplir sa fonction, on doit l'étalonner sur toute une gamme de pentes et de facteurs d'amplification de tubes. On peut modifier ces paramètres en choisissant des tubes appropriés et en faisant varier leurs conditions de fonctionnement pour couvrir une gamme de pentes s'étendant entre approximativement 1 et 15 mA/V. Pour les méthodes figurant dans l'annexe, la tension de polarisation des tubes en fonctionnement ne doit pas être inférieure à 1,5 V (de façon à réduire les effets du courant de grille) et la tension anodique en service doit être aussi faible que possible pour réduire les dissipations d'anode (et d'écran). La plupart des pentodes sont mesurées en triodes en reliant la grille écran et l'anode à l'extérieur du tube. Toutefois, certaines pentodes ainsi connectées ayant un faible facteur d'amplification, une autre possibilité de connexion à fort coefficient d'amplification, où la grille écran est reliée à la grille de commande, peut alors être utilisée.

Then the impedance of a network can be expressed as:

$$Z = \frac{R_1}{1 + j\omega\tau} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

where values characteristic of the specific network are to be substituted. The first frequency-dependent term represents the interface impedance; the second term is the resistance residue caused by the expansion. This residue, $R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$, for these networks does not greatly exceed 10 ohms. This residue reduces slightly and uniformly the transconductance of the sample tube or valve over the frequency band of interest; it does not interfere with the interface impedance measurements.

Table giving values of R_1 , R_2 and C in the networks

Network	R_1	R_2	τ (μ s)					R_i
			00.2	0.05	0.1	0.2	0.5	
			C	C	C	C	C	
	Ω	Ω	pF	pF	pF	pF	μ F	Ω
1	10	38.3	390	1 000	2 000	3 900	0.01	2.07
2	14.7	31.6	390	1 000	2 000	3 900	0.01	4.7
3	21.5	26.1	390	1 000	2 000	3 900	0.01	9.7
4	31.6	17.8	390	1 000	2 000	3 900	0.01	20.3
5	50	0	390	1 000	2 000	3 900	0.01	50
6	100	0	200	500	1 000	2 000	0.005	100
7	200	0	100	250	500	1 000	0.0025	200

Figure 2, page 33, shows a normalized plot of the variation of the real part of the interface impedance with frequency.

- 6.3 The networks in Sub-clause 6.2 can be used for the calibration of the measuring equipment by connecting them in series with the cathode lead of a tube or valve known to be free of interface impedance (see Appendix C) and operating the tube or valve network combination in the measuring equipment. The operating characteristics of the tube or valve can contribute substantially to the accuracy obtainable in any one of the measuring methods. In order to determine the ability of the measuring equipment to perform its function, it must be calibrated over a range of operating transconductances and tube or valve amplification factors. These parameters can be varied by choosing appropriate tubes or valves and varying their operating conditions to cover a range of transconductance from approximately 1 to 15 mA/V. For the methods shown in the appendices, the operating bias of the tube or valve being measured should be not less than 1.5 V (in order to minimize the effects of grid current) and the operating anode voltage should be as low as possible to minimize anode (and screen) dissipation. Most pentodes are measured as triodes by connecting the screen grid to the anode externally. However, since some pentodes connected in this manner have a very low amplification factor, an alternative connection, giving a high amplification factor, in which the screen grid is connected to the control grid, may be used for these tubes or valves.

- 6.4 Une série de courbes d'étalonnage peut être obtenue en portant les valeurs mesurées de la résistance d'interface en ordonnées et la valeur de la résistance R_i du réseau en abscisse, la constante de temps constituant le paramètre indépendant. Tous ces réseaux doivent être mesurés pour une valeur essentiellement constante de pente.

Une seconde série de courbes d'étalonnage peut être obtenue en portant les valeurs mesurées des résistances en ordonnées et la valeur de la résistance R_i du réseau en abscisse, la pente du tube étant la variable indépendante, et la constante de temps τ étant fixée.

Une troisième série reliant les valeurs mesurées ou observées des constantes de temps du réseau aux valeurs réelles peut aussi être obtenue avec à la fois la résistance R_i et la pente du tube comme paramètres indépendants.

- 6.5 Les possibilités de mesure des divers appareillages peuvent être évaluées au moyen des procédés d'étalonnage décrits ci-dessus. Les mêmes méthodes peuvent s'appliquer à l'évaluation de nouveaux appareillages établis pour mesurer l'impédance d'interface. Les mesures d'impédance d'interface peuvent être faites avec une précision relativement grande dans la gamme de sensibilité de l'appareillage utilisé, en utilisant des facteurs de correction dérivant des courbes d'étalonnage.

7. Mode opératoire

- 7.1 En général, les conditions de fonctionnement du tube doivent être choisies de façon à réduire les risques de variation de l'impédance d'interface pendant la durée de la mesure. Ceci peut être accompli au mieux en faisant fonctionner le tube dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles l'impédance d'interface est apparue. Lorsque ces conditions de fonctionnement sont inconnues ou ne peuvent être utilisées pour la mesure, le tube doit être mis en fonctionnement sous la tension anodique la plus faible possible permettant, avec une tension de polarisation au moins égale à 1,5 V, d'obtenir un courant anodique tel que la valeur de pente en résultant soit compatible avec le degré de précision requis. Le temps de fonctionnement pendant la mesure doit être aussi court que possible.
- 7.2 On peut obtenir un accroissement important de la sensibilité de mesure en réduisant la température de cathode pendant la mesure d'impédance d'interface. La formation d'une impédance d'interface peut fréquemment être accélérée en faisant fonctionner le tube à des températures de cathode supérieures à la température normale et à des densités de courant cathodique faibles. Les facteurs d'accélération ou de multiplication doivent être déterminés dans chaque cas particulier.
- 7.3 Un soin particulier doit être pris lors de l'étalonnage des appareils de mesure et des dispositifs associés pour assurer une bonne stabilité et une bonne reproductibilité des mesures. Ceci est particulièrement important en ce qui concerne la source de chauffage et les appareils de mesure correspondants.

- 6.4 A series of calibration curves can be obtained by plotting the measured value of interface resistance as the ordinate and the network value of resistance R_i as the abscissa with time constant as the independent parameter. All of these networks are to be measured at a substantially constant value of transconductance.

A second series of calibration curves can be obtained by plotting the measured value of resistance as the ordinate and the network value of resistance R_i as the abscissa with the transconductance of the tube or valve as the independent variable and a fixed time constant τ .

A third series of curves relating the measured or observed values of network time constants to the actual values, can also be obtained with both resistance R_i and tube or valve transconductance as independent parameters.

- 6.5 The measuring capabilities of various equipments can be assessed by using the calibration procedures outlined above. The same techniques may be applied to evaluate new equipments designed to measure interface impedance. Interface-impedance measurements can be made relatively accurately within the range of sensitivity of the equipment used by applying correction factors derived from the calibration curves.

7. Operating procedures

- 7.1 In general, the tube or valve operating conditions should be chosen to minimize changes of the interface impedance during the measurement period. This can best be accomplished by operating the tube or valve under the same conditions as those under which the interface impedance was developed. In cases where this operating condition is not known, or cannot be used for the measurement, the tube or valve should be operated at the lowest possible anode voltage, compatible with a grid bias of not less than 1.5 V d.c. and an anode current sufficient to yield a transconductance compatible with the requirements of the level of accuracy required. The operating time during the measurement should be as short as possible.
- 7.2 An effective increase in measurement sensitivity can be obtained by reducing cathode temperature during the measurement of interface impedance. The formation of cathode-interface impedance can frequently be accelerated by operating at higher than normal cathode temperatures and at low cathode current densities. Accelerating and multiplying factors must be established for each particular case.
- 7.3 Care should be taken when calibrating meters and associated equipment to insure good stability and repeatability of measurements. This is particularly important for the heater power supply and associated meters.
-

ANNEXE A

MÉTHODE DU PONT A RÉSEAU COMPLÉMENTAIRE

Le tube est mesuré en étant normalement branché en amplificateur dans le circuit de la figure 3, page 34. La grille est attaquée par une onde carrée provenant d'une des sorties d'un déphaseur. Le tube déphaseur doit être d'un type à forte pente. L'onde carrée d'entrée doit avoir des temps de croissance et de décroissance inférieurs ou égaux à 3×10^{-8} secondes et une période d'environ 2×10^{-5} secondes. L'amplitude doit être aussi faible que possible compte tenu de la précision. La résistance d'équilibrage de pente est réglée de façon à être égale à l'inverse de la pente (basse fréquence) du tube en mesure et l'erreur en quadrature est équilibrée par C_Q , pendant que l'oscilloscope est observé. Si le tube n'a pas d'impédance d'interface de cathode, aucun signal d'erreur n'apparaît à la sortie lorsque tous les éléments du réseau complémentaire sont au zéro. S'il y a de l'impédance d'interface, la pente apparente du tube dépend de la fréquence et n'est pas adaptée à la résistance inverse de la pente; un signal de sortie apparaît alors sur l'oscilloscope. Lorsque l'équilibre n'est pas réalisé, la forme d'onde qui apparaît pour un faible gain sur l'oscilloscope est représentée à la figure 3, encart A. Le recouvrement est obtenu en amenant l'oscilloscope à être synchronisé sur un sousharmonique impair du signal de synchronisation à 100 kHz. La pente est ajustée pour annuler l'erreur avant le point de commutation se trouvant près de l'extrémité gauche de l'encart. La commande de quadrature C_Q est réglée pour supprimer la pointe sur le front avant à la commutation, et la résistance R_1 est réglée pour supprimer tout sauf sur le front avant, L_2 ayant une valeur finie et la branche $R_3 - L_3$ restant ouverte.

Si l'erreur ne peut être réduite à zéro en réglant L_2 , et en retouchant légèrement C_Q et R_1 , un signal d'erreur semblable à celui de la figure 3, encart B, peut être obtenu. Cette forme d'erreur indique que l'impédance d'interface a deux constantes de temps, correspondant au circuit de la figure 1b. Un équilibre peut être obtenu en utilisant R_3 et L_3 , et en effectuant de petites retouches sur R_1 et L_2 . Lorsqu'un zéro est obtenu, les paramètres du réseau complémentaire sont directement liés aux paramètres de l'interface, qui peuvent être calculés. Le réseau complémentaire de la figure 3 comprend quatre éléments ajustables et deux éléments parasites inévitables. Si les éléments parasites R_2 et L_1 peuvent être négligés, la résistance d'interface est simplement égale à la valeur de R_1 . En général, toutefois, les éléments parasites ne peuvent être négligés, particulièrement pour les faibles valeurs de résistance et les petites constantes de temps (inférieures à 0,1 microseconde). Dans ces cas la résistance d'interface de cathode peut se calculer à partir des paramètres du réseau complémentaire comme suit:

$$R_i = \frac{(L_1 L_2)^2 R_3 + (L_2 L_3)^2 R_1 + (L_1 L_3)^2 R_2}{(L_1 L_2 + L_1 L_3 + L_2 L_3)^2} - \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}.$$

Si une imprécision sur la valeur de l'inductance parasite L_1 est gênante, la résistance parasite R_2 peut être combinée à une résistance fixe de 5 ohms à 10 ohms pour réduire les effets de l'imprécision sur L_1 . En tout cas l'inductance L_1 doit être aussi faible que possible car elle est effectivement en série avec la connexion de cathode du tube en mesure et peut, si elle est trop importante, provoquer un déphasage si grand qu'il ne pourrait être corrigé de façon convenable par la capacité de quadrature.

Inconvénients

- a) Six paramètres doivent être équilibrés. Ceci demande du temps et une certaine habileté.
- b) L'impédance d'interface réelle doit être calculée à partir des paramètres du réseau complémentaire, à moins que la fréquence ne soit maintenue constante et les cadrans étalonnés directement.

Avantage

Cette méthode est capable de procurer un maximum d'information avec une bonne précision sur les quatre éléments du réseau équivalent.

APPENDIX A

COMPLEMENTARY NETWORK BRIDGE METHOD

The tube or valve is measured in its normal amplifier connection in the circuit of Figure 3, page 34. The grid is driven by a square wave from one-half of a phase splitter. The phase-splitter tube or valve should be a high-transconductance type. The input square wave should have a rise and fall time of 3×10^{-8} seconds or less and a period of about 2×10^{-5} seconds. The amplitude should be as small as is consistent with accuracy. The mutual conductance balance resistor is adjusted to equal the reciprocal of the (low-frequency) transconductance of the tube or valve being measured and the quadrature error is balanced by C_Q , while the oscilloscope is observed. If the tube or valve has no cathode-interface impedance, there is then no error output signal when all elements of the complementary network are set to zero. If there is interface impedance, the apparent transconductance of the tube or valve is frequency-sensitive and not matched by the reciprocal mutual conductance resistor and an output signal appears on the oscilloscope. The unbalanced waveform for a low gain on the oscilloscope is shown in Figure 3 as insert A. The overlap is obtained by causing the oscilloscope to synchronize on an odd sub-harmonic of the 100 kHz (kc/s) synchronizing signal. The transconductance is adjusted to eliminate the error prior to the switching point near the left-hand edge of the insert A. The quadrature control C_Q is adjusted to remove the spike on the leading edge at the switching point, and the resistance R_1 is adjusted to remove any step at the leading edge, with a finite setting of L_2 and the branch $R_3 - L_3$ being open.

If the error cannot be reduced to zero by adjustment of L_2 , with slight readjustment of C_Q and R_1 , an error pattern similar to insert B of Figure 3 can be obtained. This error pattern indicates that the interface impedance has two time constants, equivalent to the circuit of Figure 1b. A balance can be obtained through the use of R_3 and L_3 , with slight adjustments of R_1 and L_2 . When balance is obtained, the parameters of the complementary network are directly related to the interface parameters, and the latter can be obtained by calculation. The complementary network shown in Figure 3 has four adjustable elements and two unavoidable parasitic elements. If the parasitic elements R_2 and L_1 can be neglected, the interface resistance is simply the value of R_1 . In general, however, the parasitic elements may not be neglected, particularly for low values of resistance and short (less than 0.1 microsecond) time constants. In such cases, the cathode-interface resistance can be calculated from the complementary network parameters as follows:

$$R_1 = \frac{(L_1 L_2)^2 R_3 + (L_2 L_3)^2 R_1 + (L_1 L_3)^2 R_2}{(L_1 L_2 + L_1 L_3 + L_2 L_3)^2} - \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}.$$

If an uncertainty in the value of the stray inductance L_1 is troublesome, the stray resistance R_2 can be combined with a fixed resistance of 5 ohms to 10 ohms to reduce the effects of the uncertainty in L_1 . The inductance L_1 should in any case be as small as possible because this inductance is effectively in series with the cathode lead of the tube or valve being measured and may, if too large, cause a phase shift so great that it cannot be properly corrected by the quadrature capacitance.

Disadvantages

- a) Six parameters must be balanced. This takes time and requires a certain amount of skill.
- b) Actual interface impedance has to be calculated from the complementary network parameters, unless the frequency is held constant and the dials calibrated directly.

Advantage

Capable of providing a maximum of information with good accuracy on all four elements of the equivalent network.

ANNEXE B

MÉTHODE DE L'ADMITTANCE PARALLÈLE

La méthode de l'admittance parallèle pour la mesure de l'impédance d'interface utilise un pont de transconductance à large bande, semblable à celui utilisé dans la méthode du réseau complémentaire. Toutefois, au lieu d'utiliser un réseau complémentaire dans le circuit de cathode pour annuler les variations de pente en fonction de la fréquence, la méthode d'admittance parallèle mesure en réalité la transadmittance complexe par l'intermédiaire d'un réseau qui est équivalent à l'inverse de la transconductance en série avec l'impédance d'interface. Les niveaux d'impédance du réseau rendent cette méthode particulièrement pratique pour des tubes dont les pentes dépassent 10 mA/V, car il n'est pas nécessaire de simuler ou de compléter les faibles valeurs d'impédance d'interface de cathode qui sont importantes pour ces tubes.

Pour de faibles valeurs d'impédance d'interface, par exemple R_i proche de 1 ohm, la réalisation du réseau de simulation ou du réseau complémentaire devient difficile à cause des inductances parasites très gênantes pour de faibles niveaux d'impédance.

Le tube en mesure est branché en triode et fonctionne dans le circuit de la figure 4, page 35. L'attaque de la grille est fournie par des sorties d'un déphaseur qui est commandé par une onde carrée de période 2×10^{-5} secondes et de temps de croissance inférieur ou égal à 3×10^{-8} secondes.

L'amplitude de l'onde carrée doit être aussi faible qu'il est possible pour obtenir une bonne précision, soit environ 100 mV à 200 mV. Pour l'équilibre, les fronts arrière de l'onde carrée, comme indiqué à la figure 4, encart A, sont amenés en coïncidence (l'oscilloscope étant synchronisé sur un sousharmonique impair des impulsions de synchronisation à 100 kHz). Les bras d'admittance étant ouverts, le passage capacitif résiduel est supprimé à l'aide de la commande de quadrature C_Q . Tout signal d'erreur restant alors est dû à l'impédance d'interface de cathode et est équilibré en introduisant une admittance en parallèle sur le bras de pente. Chacun des bras d'admittance supprime un terme d'erreur exponentiel qui apparaît après le point de commutation de l'onde carrée. L'encart B de la figure 4 montre une forme d'onde avec l'un de ces termes restant.

La résistance d'interface peut se calculer aisément à partir de la relation :

$$R_i = \frac{\mu}{\mu + 1} \times \frac{G_1 + G_2}{g_m(g_m + G_1 + G_2)}$$

où μ est le facteur d'amplification, g_m la pente en basse fréquence et où G_1 et G_2 sont les conductances en haute fréquence des deux bras de transadmittance en parallèle.

S'il est nécessaire d'avoir des informations plus précises sur l'impédance d'interface, cette impédance d'interface peut être calculée par des méthodes classiques de synthèse de réseau à partir des valeurs de transconductance et d'admittance mesurées dans le pont.

Inconvénients

- a) Six paramètres doivent être équilibrés. Ceci prend du temps et nécessite une certaine habileté.
- b) L'impédance d'interface réelle doit être calculée à partir de l'inverse du réseau de transconductance, à moins que des cartes ou des nomogrammes ne soient réalisés.

Avantage

Cette méthode est très pratique pour mesurer l'impédance d'interface de tubes à forte pente pour lesquels de faibles valeurs d'impédance sont importantes, puisque la simulation directe de telles impédances faibles est difficile à cause des effets d'inductance.

APPENDIX B

SHUNT ADMITTANCE METHOD

The shunt-admittance method for the measurement of interface impedance employs a wide-band transconductance bridge similar to that used in the complementary network method. However, instead of a complementary network in the cathode circuit to cancel the variation of transconductance with frequency, the shunt-admittance method actually measures the complex transadmittance in terms of a network that is equivalent to the reciprocal transconductance in series with the interface impedance. Network-impedance levels make this method particularly valuable when tubes or valves with transconductances in excess of 10 mA/V are measured, since it is not necessary to simulate or complement the low values of cathode-interface impedance which are important in these tubes or valves.

For low values of interface impedance, i.e. R_i about 1 ohm, construction of either simulation networks or complementary networks becomes difficult because stray inductances are very troublesome at low impedance levels.

The tube or valve being measured is triode-connected and operated in the circuit of Figure 4, page 35. The grid drive is supplied by one output of a phase splitter that is driven by a square wave having 2×10^{-5} seconds period and 3×10^{-8} seconds or less rise time.

The square-wave amplitude should be as small as is consistent with good accuracy, i.e. about 100 to 200 mV. In balancing, the trailing edges of the square wave, as shown in Insert A of Figure 4, are brought into coincidence (with the oscilloscope synchronized at an odd sub-harmonic of the 100 kHz (kc/s) synchronizing pulses). With the admittance arms open, the residual capacitance feed-through is removed by means of the quadrature control C_Q . Then any remaining error signal is caused by cathode-interface impedance and is balanced out by introducing admittance in shunt with the mutual conductance arm. Each of the admittance arms removes one of the exponential error terms that appear after the switching point of the square wave. Insert B of Figure 4 shows a waveform with one term remaining.

The interface resistance can easily be calculated from the relation:

$$R_i = \frac{\mu}{\mu + 1} \times \frac{G_1 + G_2}{g_m (g_m + G_1 + G_2)}$$

where μ is the amplification factor, g_m the low-frequency transconductance and G_1 and G_2 are the high-frequency conductances of the two shunt transadmittance arms.

If more detailed information on the interface impedance is required, the interface impedance can be calculated by standard network-synthesis methods from the transconductances and admittances as measured on the bridge.

Disadvantages

- a) Six parameters must be balanced. This takes time and requires a certain amount of skill.
- b) Actual interface impedance has to be calculated from the reciprocal transconductance network, unless charts or nomographs are made up.

Advantage

Very suitable for measuring the interface impedance of high transconductance tubes or valves where low values of impedance are important, since direct simulation of such low impedances is difficult because of inductance effects.

ANNEXE C

MÉTHODE DE COMPARAISON AVEC UN TUBE ÉTALON

La mesure est effectuée le tube fonctionnant en amplificateur dans la circuit de la figure 5, page 36. L'onde d'entrée carrée doit avoir un temps de croissance inférieur ou égal à 3×10^{-8} secondes et une période d'environ 2×10^{-5} secondes. L'amplitude doit être aussi faible que possible compte tenu de la précision.

L'impulsion de sortie du tube en mesure est comparée, à l'aide d'un amplificateur différentiel avec la sortie du tube étalon (de préférence de même type que le tube en mesure) connu pour avoir une impédance d'interface sensiblement nulle (note 1).

Le signal d'erreur sortant de l'amplificateur différentiel est annulé en modifiant la polarisation du tube étalon ainsi que les éléments R et C. Lorsqu'un équilibre est obtenu, les valeurs de R et C sont égales à celles de l'impédance d'interface, dans les limites d'une approximation à deux éléments. Si un réseau complexe était mis en évidence par un zéro très flou, un circuit complémentaire pourrait être ajouté pour déterminer les paramètres équivalents de ce système complexe.

Pour des constantes de temps d'interface supérieures à 0,1 microseconde, cette méthode peut donner environ la même précision que la mesure de la résistance d'interface selon la méthode du pont à réseau complémentaire (annexe A).

Inconvénient

Cette méthode demande un tube étalon sans impédance d'interface.

Avantages

- a) Lecture directe.
- b) Possibilité d'avoir une bonne précision.

Note 1

Pour déterminer si un tube n'a pas d'impédance d'interface, on utilise le fait que la résistance d'interface a une caractéristique sensible à la température. Le tube à vérifier doit avoir un réseau de résistance d'interface connu branché dans son circuit de cathode. On mesure alors la résistance d'interface du tube sous une tension de chauffage normale, sous une tension de chauffage inférieure de 20% à la tension normale et sous une tension de chauffage supérieure de 20% à la tension normale; les trois valeurs de résistance d'interface sont comparées. Une différence de plus de 5 ohms entre les lectures doit amener le rejet de l'utilisation de ce tube comme tube sans interface. La sélection et la garde des tubes étalons doit se faire avec soin.

APPENDIX C

STANDARD TUBE OR VALVE COMPARISON METHOD

The tube or valve is measured while operating as an amplifier in the circuit shown in Figure 5, page 36. The input square wave should have a rise time 3×10^{-8} seconds or less and a period of about 2×10^{-5} seconds. The amplitude should be as small as is consistent with accuracy.

The output pulse from the tube or valve being measured is compared by a differential amplifier with the output from the standard tube or valve (preferably of the same type as the tube or valve being measured) known to have substantially zero interface impedance (Note 1).

The error output from the differential amplifier is adjusted to balance by varying the bias of the standard tube or valve and the elements R and C. When balance is obtained, the values of R and C are equal to those of the interface impedance, within the limits of a two-element approximation. Should a complex network be indicated by a very broad balance, an additional circuit can be added to determine the equivalent parameters of the complex system.

For interface time constants greater than 0.1 microsecond, this method is capable of achieving approximately the same accuracy in the measurement of interface resistance as the complementary network bridge method (Appendix A).

Disadvantage

Requires an interface-free tube or valve as a standard.

Advantages

- a) Direct reading.
- b) Capable of good accuracy.

Note 1

To determine whether the tube or valve is free of interface impedance, use is made of the temperature sensitive characteristics of the interface resistance. The tube or valve to be checked should have a known interface resistance network connected in its cathode circuit. The tube or valve is then measured for interface resistance at normal heater voltage, 20% lower than normal heater voltage and 20% higher than normal heater voltage, and the three values of interface resistance are compared. A difference of more than 5 ohms between the readings should cause that tube or valve to be rejected for use as an interface-free tube or valve. Selection and maintenance of standard tubes or valves must be done with care.

ANNEXE D

MÉTHODE DE COMPARAISON DIFFÉRENTIELLE

On mesure le tube en le faisant fonctionner dans le circuit à charge cathodique de la figure 6, page 37. L'impulsion d'entrée doit avoir un temps de montée inférieur ou égal à 2×10^{-8} secondes et une durée d'environ 1×10^{-5} secondes. L'amplitude doit être aussi faible qu'il est possible, compte tenu de la précision. Le signal de sortie du tube en mesure est comparé avec une fraction du signal d'entrée au moyen d'un amplificateur différentiel. R_x étant amenée au zéro, la condition indiquée par la courbe A de l'encart de la figure 6 est obtenue en réglant R_s . Le signal de sortie est réglé pour obtenir la condition de la courbe B de l'encart de la figure 6 en ajustant R_x . R_x est alors égale à la résistance d'interface. La capacité de l'impédance d'interface peut alors être estimée d'après l'allure de la courbe de décroissance observée à l'oscilloscope.

Cette méthode permet d'obtenir une précision comparable à celle de la méthode de comparaison avec un tube étalon (annexe C).

Inconvénients

- a) La capacité d'interface peut être seulement estimée.
- b) Cette méthode nécessite un tube sans impédance d'interface pour l'amplificateur différentiel.

Avantages

- a) Lecture directe de la résistance d'interface.
- b) Bonne précision pour un grand nombre de types de tubes.
- c) Facile à utiliser.
- d) Le tube demande un très faible courant continu et en conséquence la variation de résistance d'interface est très faible.

APPENDIX D

DIFFERENTIAL COMPARISON METHOD

The tube or valve is measured while operating as a cathode follower in the circuit shown in Figure 6, page 37. The input pulse should have a rise time of 2×10^{-8} seconds or less and a duration of about 1×10^{-5} seconds. The amplitude should be as small as is consistent with accuracy. The output signal from the tube or valve being measured is compared with a fraction of the input signal by means of a differential amplifier. With R_x adjusted to zero, the condition shown by curve A of the insert in Figure 6 is obtained by adjusting R_s . The output signal is adjusted to the condition shown of the curve B in insert by adjusting R_x . Then R_x is equal to the interface resistance. The interface impedance capacitance can be estimated from the decay curve observed on the oscilloscope.

This method is capable of accuracy comparable with the standard tube or valve comparison method (Appendix C).

Disadvantages

- a) Interface capacitance can only be estimated.
- b) Requires an interface-free tube or valve for the differential amplifier.

Advantages

- a) Direct reading of interface resistance.
- b) Good accuracy on a wide variety of types.
- c) Simple to operate.
- d) Tube or valve draws a very small d.c. current and therefore the change in interface resistance is very small.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60151-9:1966

ANNEXE E

MÉTHODE DES OSCILLATIONS ENTRETENUES

Le tube est mesuré sous forme de diode équivalente dans le circuit de la figure 7, page 38. Le tube est comparé à deux fréquences avec le réseau analogue constitué par R_p , R_x et C . Etant donné que l'on n'utilise que deux fréquences, on ne peut déterminer que deux paramètres inconnus. Le condensateur du réseau analogue est choisi de façon telle que sa réactance soit faible par rapport à la résistance d'interface à 10 MHz et forte à 5 kHz. La réactance résiduelle à 10 MHz est compensée par une petite inductance en série. Pour effectuer la mesure, le tube est attaqué par un générateur à impédance constante à 5 kHz ayant une amplitude stable, et la tension alternative aux bornes du tube est réglée à une valeur de référence (environ 0,1 V) mesurée avec un voltmètre à tubes. Le générateur à 10 MHz est alors branché et réglé pour donner le même niveau.

Le tube étant polarisé au blocage, le réseau analogue est alors attaqué par la source à 10 MHz, et R_p est réglée pour obtenir la même tension. La même opération est répétée avec le générateur à 5 kHz, mais en réglant R_x . R_x est alors égale à la résistance d'interface du tube. Le réseau de polarisation, utilisé pour obtenir les courants et les répartitions de courants convenables pour les triodes et les tubes à plusieurs grilles, n'est pas nécessaire pour les diodes.

Inconvénients

- a) Cette méthode n'indique aucune information sur la constante de temps.
- b) Moins précise pour les très faibles constantes de temps, mais plus sensible que les autres méthodes aux environs de 0,1 microseconde.

Avantages

- a) Lecture directe de la résistance d'interface.
- b) Facile à utiliser.
- c) Utile lorsqu'un générateur d'impulsions à faible temps de croissance et un oscilloscope ne sont pas disponibles.

APPENDIX E

CONTINUOUS WAVE METHOD

The tube or valve is measured as an equivalent diode in the circuit shown in Figure 7, page 38. The tube or valve is compared at two frequencies with the analogue network consisting of R_p , R_x and C . Because only two frequencies are used, only two unknown parameters can be determined. The capacitor of the analogue network is chosen so that its reactance is small relative to the interface resistance at 10 MHz (Mc/s) and large at 5 kHz (kc/s). The residual reactance at 10 MHz (Mc/s) is compensated by a small series inductance. To make the measurement, the tube or valve is driven by a 5 kHz (kc/s) constant-impedance generator having stable amplitude and the a.c. voltage across the tube or valve is set to a reference value (about 0.1 V) as measured with a vacuum tube or valve voltmeter. The 10 MHz (Mc/s) generator is then switched in and adjusted to give the same level.

With the tube or valve biased off, the analogue network is then driven by the 10 MHz (Mc/s) source and R_p adjusted to give the same voltage. The same general procedure is repeated with the 5 kHz (kc/s) generator and R_x is then adjusted. R_x then equals the interface resistance of the tube or valve. The bias network, used to obtain suitable current levels and current division for triodes and multigrid tubes or valves, is not needed for diodes.

Disadvantages

- a) Does not provide information on the time constant.
- b) Less accurate for very short time constants, but more sensitive than other methods in the region of 0.1 microsecond.

Advantages

- a) Direct reading of interface resistance.
- b) Simple to operate.
- c) Useful when fast rise-time pulse generator and oscilloscope are not available.

ANNEXE F

MÉTHODE DE MESURE DE LA RÉSISTANCE TOTALE DE REVÊTEMENT
ET D'INTERFACE DE CATHODE EN BASSE FRÉQUENCE

Le tube fonctionne en triode dans le circuit de la figure 8, page 39. La source de tension anodique doit avoir une impédance ne dépassant pas 1 ohm. La grille de commande est reliée à une source de tension positive variable par l'intermédiaire d'une résistance de 0,5 mégohm, et il est pratique de régler le courant de grille à environ 0,4 mA. La résistance de 0,5 mégohm étant grande par rapport à l'impédance de la diode grille-cathode, le courant de grille est maintenu constant et le potentiel de grille suit le potentiel de surface de la cathode.

Le courant anodique I_a est réglé à l'aide de la commande de tension anodique V_a à sa valeur nominale et la tension anodique est modulée à l'aide du transformateur à basse impédance placé dans la connexion d'anode. La modulation est augmentée jusqu'à une valeur δI_a donnant une lecture de 100 mV aux bornes de la résistance de 100 ohms lorsque le voltmètre à tubes est branché en S_1 . Si le voltmètre à tubes est alors branché sur le circuit de grille, position S_2 , il indique une valeur δV_g correspondant à la valeur préréglée δI_a . La résistance totale de revêtement r_{kt} est alors donnée par :

$$r_{kt} = K \frac{\delta V_g}{\delta I_a}$$

où K est une constante d'étalonnage.

L'instrument peut être directement gradué en ohms.

Avec un tube neuf sans résistance dans la connexion de cathode, on lit une valeur de résistance. On constatera que cette valeur est pratiquement constante pour tous les tubes neufs de même type mesurés aux mêmes valeurs de I_g et I_a . Cette valeur est appelée erreur de zéro et on la soustrait de toutes les mesures suivantes effectuées aux mêmes valeurs I_g et I_a .

En insérant dans la connexion de cathode une résistance ajustable de précision, on peut vérifier le fonctionnement de l'appareil.

Inconvénients

- a) Aucune indication concernant la composante capacitive de l'impédance d'interface.
- b) Aucune distinction ne peut être faite entre la résistance d'interface et la résistance réelle du revêtement de cathode.

Avantages

- a) Facile à réaliser et à utiliser.
- b) Bonne reproductibilité.
- c) Simple et peu coûteuse.

Note sur la théorie

En se reportant à la figure 9, page 39, on fait l'hypothèse fondamentale que, à courant de grille constant, V_{g-k} est constant, donc qu'une variation de courant cathodique δI_k entraîne une variation de potentiel de surface de cathode $\delta I_k \times r_{kt}$.

APPENDIX F

LOW-FREQUENCY METHOD OF MEASURING TOTAL CATHODE COATING AND INTERFACE RESISTANCE

The tube or valve is operated as a triode in a circuit, as shown in Figure 8, page 39. The anode voltage source should have an impedance of not more than 1 ohm. The control grid is connected through a 0.5 megohm resistor to a variable positive voltage source and it is convenient to set the grid current to about 0.4 mA. Since 0.5 megohm is large compared with the grid-cathode diode-impedance, the grid current is maintained constant and the grid potential follows the cathode surface potential.

The anode current I_a is adjusted by the anode voltage control to its nominal value and the anode voltage V_a is modulated by the low impedance transformer in the anode lead. The modulation is increased to a value δI_a giving a reading of 100 mV across the 100 ohms resistor when the tube or valve voltmeter is switched to S_1 . If the tube or valve voltmeter is then switched into the grid circuit, position S_2 , a value δV_g will be indicated corresponding to the pre-set value of δI_a . The total cathode coating resistance r_{kt} is then given by:

$$r_{kt} = K \frac{\delta V_g}{\delta I_a}$$

where K is a calibration constant.

The instrument may be made direct reading in ohms.

With a new tube or valve inserted and zero resistance in the cathode lead, a value of resistance is read. This will be found to be a nearly constant value for all new tubes or valves of the same type measured at the same value of I_g and I_a . This is termed the zero error, and it is subtracted from all subsequent measurements carried out at the same values of I_g and I_a .

By inserting an adjustable precision resistor in the cathode lead, the performance of the equipment may be checked.

Disadvantages

- a) No indication of the capacitive component of the interface impedance.
- b) No distinction can be drawn between the interface resistance and the actual resistance of the cathode coating.

Advantages

- a) Easy to set up and use.
- b) Good reproducibility.
- c) Simple and inexpensive.

Note on the theory

Referring to Figure 9, page 39, the fundamental assumption is made that, at constant grid current, V_{g-k} is constant, so that a variation in cathode current δI_k produces a variation in cathode surface potential $\delta I_a \times r_{kt}$.

$$\text{Alors:} \quad \delta I_k \times r_{kt} = \delta V_{g-e}$$

$$\text{donc:} \quad r_{kt} = \frac{\delta V_{g-e}}{\delta I_k}$$

ce qui veut dire que r_{kt} (résistance totale de revêtement et d'interface) est égale à la pente de la caractéristique V_g/I_k pour un courant de grille constant.

Une analyse mathématique plus stricte conduit à l'équation:

$$\frac{\delta V_{g-e}}{\delta I_k} = r_{kt} + \frac{1}{1 + \mu'/\mu} \cdot \frac{1}{g_m}$$

$$\text{où} \quad \mu = \frac{\delta V_{a-k}}{\delta V_{g-k}}, \quad I_a \text{ étant constant}$$

$$\mu' = \frac{\delta V_{a-k}}{\delta V_{g-k}}, \quad I_g \text{ étant constant}$$

$$g_m = \frac{\delta I_k}{\delta V_{g-k}}.$$

Le tube étant branché en triode et le courant grille étant maintenu à une valeur constante, alors $\delta I_k = \delta I_a$ et l'expression devient:

$$\frac{\delta V_{g-e}}{\delta I_a} = r_{kt} + \frac{1}{1 + \mu'/\mu} \cdot \frac{1}{g_m}.$$

L'erreur due au second terme dans l'expression ci-dessus est en général inférieure à environ 10 ohms et si l'on peut supposer que des tubes neufs ont des valeurs très faibles de r_{kt} , la correction peut être déterminée par une mesure. Si l'on cherche à vérifier les variations d'interface se produisant au cours de la vie, on peut ne pas tenir compte de cette correction si le deuxième terme reste constant.

Then: $\delta I_k \times r_{kt} = \delta V_{g-e}$

thus: $r_{kt} = \frac{\delta V_{g-e}}{\delta I_k}$

i.e. r_{kt} (the total coating and interface resistance) is equal to the slope of the V_g/I_k characteristic at constant grid current.

A more strict mathematical analysis leads to the equation:

$$\frac{\delta V_{g-e}}{\delta I_k} = r_{kt} + \frac{1}{1 + \mu'/\mu} \cdot \frac{1}{g_m}$$

where

$$\mu = \frac{\delta V_{a-k}}{\delta V_{g-k}}, \quad I_a \text{ being constant}$$

$$\mu' = \frac{\delta V_{a-k}}{\delta V_{g-k}}, \quad I_g \text{ being constant}$$

$$g_m = \frac{\delta I_k}{\delta V_{g-k}}$$

As the tube or valve is connected as a triode and as the grid current is maintained at a constant value, then $\delta I_k = \delta I_a$ and the expression becomes:

$$\frac{\delta V_{g-e}}{\delta I_a} = r_{kt} + \frac{1}{1 + \mu'/\mu} \cdot \frac{1}{g_m}$$

The error caused by the second term in the above expression is usually not greater than about 10 ohms and if new tubes or valves can be assumed to have very low values of r_{kt} , the correction can be determined by measurement. For the purpose of investigating changes in interface occurring during life, the correction can be ignored if this second term stays constant.