

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C. E. I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I. E. C. RECOMMENDATION

Publication 96-1

Deuxième édition — Second edition

1962

Câbles pour fréquences radioélectriques

Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure

Radio-frequency cables

Part 1: General requirements and measuring methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC 60096-1:1962

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C. E. I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I. E. C. RECOMMENDATION

Publication 96-1

Deuxième édition — Second edition

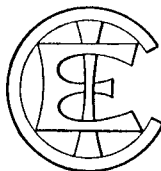
1962

Câbles pour fréquences radioélectriques

Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure

Radio-frequency cables

Part 1: General requirements and measuring methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Page
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
DOMAINE D'APPLICATION	8
OBJET	8
 1. GÉNÉRALITÉS	
1.1 Explications et définitions des termes	10
1.2 Essais d'approbation de type et essais de production	12
1.3 Construction des câbles	14
1.4 Conditions atmosphériques normales d'essai	16
 2. ESSAIS ÉLECTRIQUES	
2.1 Résistivité du (ou des) conducteurs intérieurs	16
2.2 Rigidité diélectrique de l'âme	18
2.3 Résistance d'isolement	18
2.4 Rigidité diélectrique de la gaine	18
2.5 Essai de décharge	20
2.6 Capacité et déséquilibre de capacité	22
2.7 Vitesse de propagation relative	22
2.8 Impédance caractéristique	24
2.9 Uniformité de l'impédance	24
2.10 Exposant d'affaiblissement	24
2.11 Déséquilibre de transmission	24
2.12 Efficacité d'écran	24
 3. ESSAIS CHIMIQUES	24
 4. ESSAIS CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE	
4.1 Stabilité en capacité	26
4.2 Stabilité en affaiblissement	26
4.3 Essais de stabilité thermique	28
4.3.1 Essai à haute température	28
4.3.2 Essai à basse température	30
4.4 Essai de fluage	30
4.5 Résistance aux rayons ultra-violets	32
4.6 Stabilité dimensionnelle	32
 5. MARQUAGE	
5.1 Couleur de la gaine	32
5.2 Indication de type	32
5.3 Numérotation de type	32
 ANNEXE — MÉTHODES DE MESURE ADDITIONNELLES	
101. Impédance caractéristique	34
102. Uniformité d'impédance	36
103. Essais de décharge (Corona)	40
104. Affaiblissement	46
105. Efficacité d'écran	52
106. Déséquilibre de transmission	56
Figures	60-65

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SCOPE	9
OBJECT	9
 1. GENERAL	
1.1 Explanations and definitions	11
1.2 Type acceptance and production tests	13
1.3 Cable construction	15
1.4 Standard atmospheric conditions for testing	17
 2. ELECTRICAL TESTS	
2.1 Resistivity of inner conductor(s)	17
2.2 Dielectric strength of core	19
2.3 Insulation resistance	19
2.4 Dielectric strength of sheath	19
2.5 Discharge test	21
2.6 Capacitance and capacitance unbalance	23
2.7 Velocity ratio	23
2.8 Characteristic impedance	25
2.9 Uniformity of impedance	25
2.10 Attenuation constant	25
2.11 Transmission unbalance	25
2.12 Screening efficiency	25
 3. CHEMICAL TESTS	25
 4. CLIMATIC AND MECHANICAL ROBUSTNESS TESTS	
4.1 Capacitance stability	27
4.2 Attenuation stability	27
4.3 Thermal stability tests	29
4.3.1 High temperature test	29
4.3.2 Low temperature test	31
4.4 Flow test	31
4.5 Resistance to ultra-violet rays	33
4.6 Dimensional stability	33
 5. MARKING	
5.1 Colour of the sheath	33
5.2 Type indication	33
5.3 Type number	33
 APPENDIX — ADDITIONAL MEASURING METHODS	
101. Characteristic impedance	35
102. Uniformity of impedance	37
103. Discharge test (Corona test)	41
104. Attenuation	47
105. Screening efficiency	53
106. Transmission unbalance	57
Figures	61–65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES POUR FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES

PREMIÈRE PARTIE

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES ET MÉTHODES DE MESURE

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. 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 C.E.I. 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 C.E.I. 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.
- 5) La C.E.I. n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

PRÉFACE

Les présentes recommandations ont été établies par le Sous-Comité 40-2: Lignes de transmission pour fréquences radioélectriques et leurs accessoires (remplacé maintenant par le Sous-Comité 46A: Câbles pour fréquences radioélectriques et leurs accessoires).

Ces recommandations sont éditées en deux parties:

Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure.

Deuxième partie: Spécifications particulières de câbles.

Le présent fascicule contient la première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure.

La deuxième partie: Spécifications particulières de câbles, fait l'objet de la Publication 96-2 de la C.E.I.

La deuxième édition de la première partie se distingue de la première édition parue en 1958 par certaines modifications apportées aux prescriptions des articles 4.3.1.3, Essai à haute température et 5.3, Numérotation de type, conformément aux décisions ultérieures du Comité, et par l'introduction d'une annexe concernant les méthodes de mesure additionnelles. A l'origine, il était prévu que l'annexe serait éditée séparément. Toutefois, la première édition devant être réimprimée, on a profité de cette occasion pour grouper l'annexe et la première partie dans le même fascicule.

La publication fut discutée dans ses grandes lignes lors de la réunion de Lugano, en avril 1954, et à Philadelphie, en septembre 1954. Un nouveau projet relatif à la première partie fut ensuite établi et discuté en détail à Londres, en juillet 1955. Au cours de cette réunion, le projet fut accepté pour être soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois; il fut diffusé en janvier 1956.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RADIO-FREQUENCY CABLES

PART 1

GENERAL REQUIREMENTS AND MEASURING METHODS

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. 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 I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. 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.
- 5) The I.E.C. has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

These recommendations have been prepared by Sub-Committee 40-2: R.F. transmission lines and their accessories (now superseded by Sub-Committee 46A: R.F. cables and their accessories).

The recommendations are issued in two parts, viz.

Part 1: General requirements and measuring methods.

Part 2: Relevant cable specifications.

The present booklet contains Part 1: General requirements and measuring methods.

Part 2: Relevant cable specifications, is issued as I.E.C. Publication 96-2.

This second edition of Part 1 differs from the first edition, issued in 1958, in that the requirements of Clauses 4.3.1.3, High temperature test and 5.3, Type number, have been altered in accordance with later decisions of the Committee and that the Appendix on additional measuring methods has been added. It was originally the intention that this Appendix would be issued separately, but the need for reprinting the first edition has enabled it to be combined under the same cover as the original Part 1.

The general outline of the recommendations was first discussed at a meeting held in Lugano in April 1954 and in Philadelphia in September 1954. A new draft for Part 1 was prepared, which was given full consideration at a meeting held in London in July 1955. During that meeting a draft was accepted for submission to the National Committees for approval under the Six Months' Rule, circulation taking place in January 1956.

Aucun vote défavorable ne fut reçu, mais quelques pays présentèrent des observations qui furent examinées à Munich, en juillet 1956. Quelques amendements adoptés au cours de cette réunion furent soumis à tous les Comités nationaux pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de la première partie des Recommandations:

Allemagne	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Italie	

Les travaux relatifs à la préparation de l'annexe concernant les méthodes de mesure additionnelles débordèrent légèrement l'établissement de la première partie et des projets furent discutés lors de réunions tenues à Munich en juillet 1956 et à Stockholm en juillet 1958. Au cours de cette dernière réunion, un projet fut accepté pour être soumis à l'approbation des Comités nationaux; il fut diffusé en avril 1959.

Un seul vote défavorable fut enregistré, mais quelques pays présentèrent des observations qui furent examinées lors d'une réunion tenue à Ulm en octobre 1959. Quelques amendements adoptés au cours de cette réunion furent soumis à tous les Comités nationaux pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois en avril 1960.

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

Allemagne	Norvège
Belgique	Pays-Bas
Danemark	Roumanie
Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni
France	Suède
Hongrie	Suisse
Italie	Tchécoslovaquie
Japon	

No unfavourable votes were received but some countries submitted comments which were considered at a meeting held in Munich in July 1956. A few amendments that were adopted during that meeting were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Part 1:

Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	United Kingdom
Germany	United States of America
Italy	

The work of preparing the Appendix on additional measuring methods overlapped slightly the preparation of Part 1, and drafts were discussed at the meeting held in Munich in July 1956, and at a meeting held in Stockholm in July 1958. At the latter meeting, a draft was accepted for submission to the National Committees for approval under the Six Months' Rule, circulation taking place in April 1959.

Only one unfavourable vote was received, but some countries submitted comments which were considered at a meeting held in Ulm in October 1959. A few amendments which were adopted during that meeting were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in April 1960.

The following countries voted explicitly in favour of publication of the Appendix:

Belgium	Netherlands
Czechoslovakia	Norway
Denmark	Romania
France	Sweden
Germany	Switzerland
Hungary	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	

CÂBLES POUR FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES

PREMIÈRE PARTIE: PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES ET MÉTHODES DE MESURE

Cette publication devra être utilisée conjointement avec la Publication 68 de la C.E.I.: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique des pièces détachées.

Pour les valeurs des impédances caractéristiques et des dimensions normalisées, voir la Publication 78 de la C.E.I.

DOMAINE D'APPLICATION

Ces recommandations se rapportent aux câbles coaxiaux flexibles, ou semi-flexibles, ainsi qu'aux conducteurs du type jumelé (ou en paires) pour fréquences radioélectriques destinés à être utilisés dans les équipements de radio-communication, et dans les systèmes électroniques utilisant des techniques similaires. Le diélectrique de ces câbles peut être du type massif, aéré ou semi-aéré et réalisé avec un diélectrique constitué par une résine thermoplastique polymérisée, à faibles pertes, un mélange therm durcissable ou une matière minérale.

OBJET

Ces recommandations ont pour objet d'établir des conditions uniformes d'appréciation des propriétés électriques, climatiques et mécaniques des câbles utilisés aux fréquences radioélectriques et de décrire des méthodes d'essais.

Note. — La composition et les caractéristiques de chaque type de câble sont prescrites dans la deuxième partie de ces recommandations.

RADIO-FREQUENCY CABLES

PART 1: GENERAL REQUIREMENTS AND MEASURING METHODS

This Publication shall be used in conjunction with I.E.C. Publication 68: Basic Climatic and Mechanical Robustness Testing Procedure for Components.

For standard characteristic impedances and dimensions, see I.E.C. Publication 78.

SCOPE

These Recommendations relate to flexible or semi-flexible radio-frequency cables of coaxial or twin conductor types designed for use in radio-communication equipment and in electronic devices employing similar techniques. The dielectric may be of solid, air-spaced, or semi-airspaced types, consisting of a thermoplastic of low-loss polymeric resin or of a thermosetting compound, or of a mineral material.

OBJECT

To establish uniform requirements for judging the electrical, climatic and mechanical properties of radio-frequency cables and to describe test methods.

Note. — Part 2 of these Recommendations lays down the construction and characteristics for each type of cable.

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 Explications et définitions

1.1.1 Explication des termes descriptifs

1.1.1.1 Câbles à diélectrique massif

Ce terme est appliqué aux câbles dans lesquels tout l'espace compris entre le ou les conducteurs intérieurs et le conducteur extérieur (ou l'écran) est substantiellement rempli par un diélectrique massif. Le diélectrique peut être homogène ou composite, c'est-à-dire constitué de deux ou plusieurs couches adhérentes de propriétés différentes.

1.1.1.2 Câbles aérés

Ce terme est appliqué aux câbles dans lesquels le diélectrique est l'air, excepté pour quelques portions occupées par des espaceurs d'isolation, disposés sur le conducteur intérieur à intervalles réguliers, ou de rubans et/ou de fils appliqués en hélice. Une des caractéristiques de ce type de câble est qu'en dehors des espaceurs il est possible de passer du ou des conducteurs intérieurs au conducteur extérieur (ou écran), sans traverser une couche de diélectrique massif.

1.1.1.3 Câbles semi-aérés

Ce terme est appliqué aux câbles dans lesquels le mode d'isolation est intermédiaire entre l'isolation aérée et l'isolation massive et diffère de la précédente en ce qu'il est impossible de passer du ou des conducteurs intérieurs au conducteur extérieur ou à l'écran sans passer à travers au moins une couche de diélectrique massif.

1.1.1.4 Conducteurs des câbles pour fréquences radioélectriques

Les conducteurs intérieurs et extérieurs des câbles pour fréquences radioélectriques sont ceux qui connectés à la source de fréquence radioélectrique, ont essentiellement pour but la transmission effective d'un signal. Un écran est un recouvrement conducteur appliqué autour du câble dans le but de réduire le champ électromagnétique extérieur du câble dû aux courants traversant le ou les conducteurs intérieurs. Lorsque ce recouvrement est séparé du conducteur extérieur (s'il en existe un) par un matériau isolant il est dénommé « écran isolé ». Il devra être rappelé que le conducteur extérieur d'un câble coaxial possède, de lui-même, les propriétés d'un écran.

1.1.1.5 Vitesse de propagation relative

La vitesse de propagation relative est définie comme le rapport de la vitesse de propagation dans le câble à la vitesse de propagation dans l'espace libre.

Nota. — Pour la valeur de la vitesse de propagation dans l'espace libre on prendra : 299 778 km/s.

1.1.1.6 Affaiblissement

L'affaiblissement par unité de longueur est défini comme le décrement logarithmique de la puissance transmise. L'affaiblissement est exprimé en décibels par mètre et il sera donné à une température du câble de 20°C.

1. GENERAL

1.1 Explanations and definitions

1.1.1 Explanations of descriptive terms

1.1.1.1 *Cables with solid dielectric*

This term is applied to cables in which all the space between the inner conductor(s) and the outer conductor (or screens) is substantially filled by solid dielectric. The dielectric may be either homogeneous or composite, the latter comprising two or more concentric adhering layers having different properties.

1.1.1.2 *Air-spaced cables*

This term is applied to cables in which the dielectric is air except for that portion occupied by insulating spacers assembled on the inner conductor at regular intervals or helically applied tapes and/or threads. It is characteristic of this type of cable that, outside the spacers, it is possible to pass from the inner conductor(s) to the outer conductor (or screen) without passing through a layer of solid dielectric.

1.1.1.3 *Semi-air-spaced cables*

This term is applied to cables in which the dielectric is intermediate between that of air-spaced cables and of cables with solid dielectric and which differ from the preceding in that it is impossible to pass from the inner conductor(s) to the outer conductor (or screen) without passing through at least one layer of solid dielectric.

1.1.1.4 *Conductors of r.f. cables*

The inner and outer conductors of an r.f. cable are those conductors which have to be connected to the radio-frequency source and which are essential for the effective transmission of a signal. A screen is a conductive covering applied around the cable for the purpose of reducing the electromagnetic field outside the cable due to currents flowing in the inner conductor or conductors. Where this covering is separated from the outer conductor (if present) by an insulating material it is called an "insulated screen". It should be recognized that the outer conductor of a coaxial cable has inherent screening properties.

1.1.1.5 *Velocity ratio*

The velocity ratio is defined as the ratio of the velocity of propagation in the cable to the velocity of propagation in free space.

Note. — The velocity of propagation in free space can be taken as 299 778 km/s.

1.1.1.6 *Attenuation*

Attenuation per unit of length is defined as the logarithmic decrement in transmitted power. The attenuation shall be expressed in decibels per metre and it shall be given at a cable temperature of 20°C.

1.1.1.7 Puissance nominale

La puissance nominale d'un câble pour fréquences radioélectriques à chaque fréquence déterminée peut être considérée comme la puissance pouvant être appliquée d'une façon permanente à l'entrée du câble, quand il est terminé sur son impédance caractéristique, à une température ambiante de 40°C et pour laquelle le maximum de température admissible pour le conducteur intérieur ne sera pas dépassé. Le maximum de température admissible pour le conducteur intérieur dépend de la plus haute température permise pour le matériau d'isolation et il doit être en accord avec les indications données ci-dessous:

Matériau d'isolation	Maximum de température du conducteur intérieur
Polyéthylène	85°C
Polytétrafluoroéthylène	200°C

Nota 1. — D'autres puissances nominales sont applicables pour des valeurs de la température ambiante différant de 40°C et pour des conditions spéciales. Elles doivent être indiquées par le constructeur sur demande du client.

Nota 2. — Pour les matériaux isolants non mentionnés dans cette clause, le maximum de température admissible pour le conducteur intérieur doit être donné dans la spécification particulière du câble considéré.

Nota 3. — Pour les câbles destinés à travailler à des températures plus élevées, la température maximum d'utilisation devra être indiquée dans la spécification particulière du câble considéré.

1.1.2 Définition des paramètres techniques

1.1.2.1 Angle de tressage

L'angle de tressage est défini par:

$$\Theta = \arctan \frac{\pi D}{L}$$

D = diamètre moyen de la tresse (= diamètre sur diélectrique + $2 d_w$).

d_w = diamètre du fil de tresse ou épaisseur du ruban de tresse.

L = pas de la tresse.

1.1.2.2 Facteur de recouvrement

Le facteur de recouvrement est défini par:

$$\frac{mw}{2\pi D} \left(1 + \frac{\pi^2 D^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ qui peut s'exprimer par } \frac{mw}{2L \sin \Theta}$$

Pour une tresse en ruban: w = largeur du ruban

Pour une tresse en fils: $w = n d_w$

Avec D = diamètre moyen de la tresse (= diamètre sur diélectrique + $2 d_w$)

d_w = diamètre du fil de tresse ou épaisseur du ruban

L = pas de la tresse, égal à $\frac{m}{2P}$ (P = points par unité de longueur)

m = nombre total de fuseaux

n = nombre de brins de fils par fuseau.

1.2 Essais d'approbation de type et essais de production

Les essais d'approbation de type sont ceux qui sont faits pour déterminer si un type de câble tient les performances requises de la spécification particulière.

Les essais de production sont ceux qui sont à exécuter par le fabricant sur le câble, avant sa livraison, pour s'assurer que les propriétés principales du câble sont conservées.

1.1.1.7 Power rating

The power rating of an r.f. cable at any specified frequency shall be considered as the input power which may be handled continuously by the cable when terminated by its characteristic impedance, at an ambient temperature of 40°C, whereby the maximum temperature of the inner conductor shall not be exceeded. The maximum temperature of the inner conductor depends upon the highest allowable temperature of the insulating material and it shall be in accordance with the figures given below:

<i>Insulating material</i>	<i>Maximum temperature of inner conductor</i>
Polyethylene	85°C
Polytetrafluorethylene	200°C

Note 1. — Other power ratings are applicable for ambient temperatures other than 40°C and special conditions. These shall be supplied by the manufacturer upon request of the customer.

Note 2. — For insulating materials not mentioned in this clause the maximum temperature of the inner conductor shall be given in the relevant cable specification.

Note 3. — For cables which are suitable for higher operating temperatures, the maximum operating temperature shall be given in the relevant cable specification.

1.1.2 Definitions of engineering parameters

1.1.2.1 Braid angle

The braid angle is defined as:

$$\Theta = \arctan \frac{\pi D}{L}$$

D = mean diameter of braid (= diameter over dielectric + $2 d_w$)

d_w = diameter of braid wire, or thickness of braid tape

L = lay of braid.

1.1.2.2 Filling factor

The filling factor is defined as:

$$\frac{m w}{2 \pi D} \left(1 + \frac{\pi^2 D^2}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ which can be expressed as } \frac{m w}{2 L \sin \Theta}$$

For tape braids: w = width of tape

For wire braids: $w = n d_w$

Where D = mean diameter of braid (= diameter over dielectric + $2 d_w$)

d_w = diameter of braid wire or thickness of braid tape

L = lay of braid, equal to $\frac{m}{2P}$ (P = picks per unit length)

m = total number of spindles

n = number of ends of wire per spindle.

1.2 Type acceptance and production tests

Type acceptance tests are those tests which are made in order to determine whether or not a cable meets the performance requirements of the applicable cable specification.

Production tests are those tests to be made by the manufacturer on cables prior to delivery in order to ensure that the basic properties of the cable are maintained.

Les essais à exécuter comme essais d'approbation de type et de production seront spécifiés dans la spécification particulière du câble considéré.

Sur demande du client, le fabricant devra fournir un procès-verbal d'essais donnant les résultats des essais applicables, mentionnés dans la spécification particulière du câble considéré.

Nota. — Lorsque le client exigera à la livraison la répétition de certains essais, ceux-ci devront faire l'objet d'un accord particulier entre l'acheteur et le fabricant.

1.3 Construction des câbles

1.3.1 Généralités

La construction des câbles doit être en accord avec les détails et les dimensions dans la spécification particulière du câble considéré.

1.3.2 Conducteurs intérieurs

La construction et le matériau du ou des conducteurs intérieurs devront être ceux spécifiés dans la spécification particulière du câble considéré.

Chaque conducteur intérieur devra être constitué par un fil ou un tube, ou par un toron (concentrique ou tordu), une tresse ou une enveloppe de fils ou de rubans, comme indiqué dans la spécification particulière du câble considéré.

Lorsque le ou les conducteurs intérieurs sont constitués par un fil unique ils ne devront pas être raccordés dans leur fabrication postérieurement à la dernière opération de tréfilage.

Les « raccords » dans les brins individuels des conducteurs intérieurs en cuivre toronnés doivent être brasés ou soudés à l'argent, en utilisant un flux non acide, de telle manière que le diamètre du toron ne soit pas augmenté et il ne devra pas y avoir d'aspérités ou de bavures.

Aucune soudure sur un brin individuel ne devra être à moins de 0,3 mètre d'une soudure d'un autre brin individuel.

Dans les cas particuliers de câbles de grande longueur ayant leurs conducteurs intérieurs constitués par de gros fils ou par des tubes, le raccord du conducteur intérieur devra faire l'objet d'un accord entre le constructeur et le client.

Excepté dans le cas de câbles à isolation minérale, les échantillons de fil de tube, ou de ruban de cuivre, prélevés sur le câble terminé, ne devront pas montrer de décoloration substantielle. Si les conducteurs sont étamés, ils devront être débarrassés de tout flux décapant et matières de nettoyage.

1.3.3 Diélectrique

Le type de diélectrique requis pour chaque câble est indiqué dans les spécifications particulières du câble considéré. Le diamètre sur diélectrique et l'épaisseur du diélectrique devront être conformes à la spécification particulière du câble considéré.

1.3.4 Conducteur extérieur ou écran

Le conducteur extérieur ou l'écran doit être d'un des types suivants ou d'une combinaison de ceux-ci :

- a) Une tresse de cuivre recuit nu, étamé ou argenté. Les raccords dans les fils ou les rubans de tresse devront être soudés, tordus ou serrés ensemble et il ne devra y avoir aucun raccord de la tresse complète. La tresse devra être uniformément appliquée. L'angle de la tresse et le facteur de recouvrement de celle-ci seront déterminés dans les spécifications particulières du câble considéré.
- b) Des fils ou rubans de cuivre seront appliqués autour du noyau pour former un écran fermé, avec ou sans frettes d'acier.
- c) Un tube serré, étanche aux gaz, de matériau conducteur convenable.

The tests to be carried out for type acceptance and production tests will be specified in the relevant cable specification.

On demand of the customer the manufacturer shall supply test reports giving the results of applicable tests mentioned in the relevant cable specification.

Note. — When the customer requires certain tests to be repeated upon delivery, this shall be the subject of a special agreement between customer and manufacturer.

1.3 Cable construction

1.3.1 General

The cable construction shall be in accordance with the details and the dimensions given in the relevant cable specification.

1.3.2 Inner conductor or conductors

The construction and material of the inner conductor or conductors shall be as specified in the relevant cable specification.

Each inner conductor shall consist of a wire or tube, or of stranded (concentric or bunched), braided, or lapped wires or tapes, as specified in the relevant cable specification.

Where the inner conductor or conductors consist of a single wire, there shall be no joint in the wire made subsequent to the last drawing operation.

Joints in the individual strands of stranded copper inner conductors shall be brazed or silver soldered using a non-acid flux, in such a manner that the strand diameter shall not be increased and there shall be no lumps or sharp projections.

No joint in an individual strand shall be within approximately 0.3 metre of a joint in any other individual strand.

In special cases where cables having large single wire or tube inner conductors are required in long lengths, the jointing of the inner conductor shall be agreed between manufacturer and customer.

Except in the case of mineral insulated cables, samples of copper wire or tube removed from the finished cable shall show no substantial discolouration. If conductors are tinned, they shall be free from flux and cleaning material.

1.3.3 Dielectric

The type of dielectric required for each cable is indicated in the relevant cable specification. The diameter over dielectric and the thickness of the dielectric shall be as specified in the relevant cable specification.

1.3.4 Outer conductor or screen

The outer conductor or screen shall be one of the following types or any combination of them:

- (a) A braid of plain, tinned or silvered annealed copper wire or tape. Joints in the braiding wires or tapes shall be soldered, twisted or woven-in and there shall be no joint in the complete braid. The braid shall be evenly applied. The braid angle and the filling factor shall be specified in the relevant cable specification.
- (b) Copper wires or tape(s) formed round the core as a continuous and closed screen, with or without a steel binder.
- (c) A gas-tight tube of suitable conducting material.

- d) Une couche de métal ou d'un film métallisé, appliquée avec un recouvrement approximatif de 25 %, et recouverte avec une tresse de cuivre (comme en a) appliquée autour de ce film.

Excepté dans les cas de câbles à isolation minérale, les échantillons de fils, de tubes ou de rubans de cuivre, prélevés sur le câble terminé, ne devront pas montrer de décoloration substantielle. Les conducteurs devront être débarrassés de tout flux décapant et matières de nettoyage.

1.3.5 Protection extérieure

Lorsque ceci est prévu dans les spécifications particulières du câble considéré, un recouvrement ultérieur doit être appliqué pour protéger le conducteur extérieur ou l'écran des détériorations mécaniques ou de la corrosion. Il doit être d'un des types suivants ou d'une combinaison de ceux-ci :

- a) Gaine plastique. La gaine ne devra pas présenter de perforations, craquelures, soufflures et autres défauts et aura un fini lisse. Un léger marquage de la tresse est admissible. Lorsque la spécification l'indiquera, une tresse de protection ou un ruban sera appliqué sur la gaine plastique.

Le diamètre extérieur de la gaine et l'épaisseur de la gaine devront être conformes à la spécification particulière du câble considéré.

Nota. — Lorsque le terme p.v.c. est utilisé il se rapporte à des mélanges plastifiés de chlorure de polyvinyle ou de copolymères de chlorure de vinyle et d'acétates de vinyle.

- b) Une tresse de verre vernie avec ou sans ruban d'étanchéité.
c) Un revêtement ou une autre protection constitué suivant la spécification particulière du câble considéré.
d) Une armure constituée suivant la spécification particulière du câble considéré.

Nota. — Les prescriptions requises pour l'armure des câbles sont en étude.

1.4 Conditions atmosphériques normales d'essai

Sauf prescriptions contraires, tous les essais seront exécutés dans les conditions spécifiées par la publication N° 68 de la C.E.I. : Essais fondamentaux climatiques et essais de robustesse mécanique des pièces détachées.

Avant que les mesures ne soient faites, les câbles devront être stockés à la température de mesure, pendant un temps suffisant pour permettre au câble entier d'atteindre cette température. Quand les mesures sont exécutées à une autre température que la température normale, le résultat devra être corrigé pour être ramené à la température normale.

Nota. — Lorsqu'il est impossible d'exécuter les essais sous les conditions atmosphériques normales d'essai, une note, à ce sujet, relatant les conditions dans lesquelles ils ont été faits, sera ajoutée au procès-verbal des essais.

2. ESSAIS ÉLECTRIQUES

2.1 Résistivité du ou des conducteurs intérieurs

Les conducteurs en cuivre devront être étirés dans du cuivre dont la résistivité devra être conforme aux exigences de la publication N° 28 de la C.E.I. : Spécification internationale d'un cuivre-type recuit.

Nota. — Pour les matériaux autres que le cuivre, la résistivité de ceux-ci devra être conforme aux exigences de la spécification particulière du câble considéré.

- (d) A layer of metal or metallized film applied with an approximate overlap of 25%, covered with a copper braid (as in (a) above) woven over the film.

Except in the case of mineral insulated cables, samples of copper wire, tapes or tube removed from the finished cable shall show no substantial discolouration. Conductors shall be free from flux and cleaning material.

1.3.5 Outer protection

When specified in the relevant cable specification, a further covering shall be applied to protect the outer conductor or screen from mechanical damage or corrosion. It shall be one of the following types or any combination of them:

- (a) Plastic sheath (Jacket). The sheath shall be free from pin holes, cracks, blisters and other defects and shall have an even finish. A slight external braid pattern is permissible. Where specified, a protective braid or tape shall be applied over or under the plastic sheath.

The diameter over sheath and the thickness of the sheath shall be as specified in the relevant cable specification.

Note. — Where the term p.v.c. is used it denotes a plasticised compound of polyvinylchloride, or vinylchloride-vinylacetate copolymers.

- (b) Varnished glass braid with or without waterproof tapes.
- (c) A serving or any other protection as specified in the relevant cable specification.
- (d) An armouring as specified in the relevant cable specification.

Note. — Requirements for armouring are under consideration.

1.4 Standard atmospheric conditions for testing

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under the conditions specified in I.E.C. Publication No. 68: Basic climatic and mechanical robustness testing procedure for components.

Before the measurements are made, the cables shall be stored at the measuring temperature for a time sufficient to allow the entire cable to reach this temperature. When measurements are made at a temperature other than the standard temperature the result shall, where necessary, be corrected to the standard temperature.

Note. — Where it is impracticable to carry out tests under the standard atmospheric conditions for testing, a note to this effect, stating the actual conditions of tests shall be added to the test report.

2. ELECTRICAL TESTS

2.1 Resistivity of inner conductor(s)

Copper conductors shall be drawn from copper the resistivity of which shall be in accordance with I.E.C. Publication No. 28: International Standards of Resistance for Copper.

Note. — For materials other than copper the resistivity shall be in accordance with the requirements of the relevant cable specification.

2.2 Rigidité diélectrique de l'âme

Le diélectrique entre conducteurs intérieurs et entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur ou l'écran du câble, doit résister, sans rupture, pendant une minute, à une tension alternative d'une valeur qui est indiquée dans les spécifications particulières du câble considéré. La fréquence doit être comprise entre 40 Hz et 60 Hz et la forme de l'onde devra être sinusoïdale.

Le taux d'accroissement de la tension d'essai ne doit pas dépasser 2 kV/s. Les câbles en paires, sans écran, doivent être immergés pendant une heure dans l'eau (eau de ville), à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. La tension devra être appliquée entre chaque conducteur successivement et l'eau, l'autre conducteur étant connecté à l'eau.

Pour les câbles en paires sous écran, la tension devra être appliquée successivement entre chaque conducteur et l'autre relié à l'écran.

Pour des câbles avec écran isolé la tension d'essai prévue dans la spécification particulière du câble considéré sera appliquée entre cet écran et le conducteur extérieur.

2.3 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieurs et entre chaque conducteur intérieur et le conducteur extérieur ou l'écran devra être mesurée après une électrification de 1 minute $\pm$ 5 secondes, sous une tension continue de $500\text{ V} \pm 50\text{ V}$.

2.4 Rigidité diélectrique de la gaine

Dans cette clause sont incluses deux méthodes d'essai différentes. Ces deux méthodes étant considérées comme équivalentes, une seule d'entre elles doit être appliquée.

2.4.1 Essai par immersion

Le câble devra être immergé dans l'eau à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ pendant une heure.

A la fin de cette période, une tension d'essai alternative de la valeur indiquée par le tableau I devra être appliquée pendant une durée supérieure à 1 minute, mais n'excédant pas 2 minutes, entre le conducteur extérieur ou l'écran et l'eau.

La fréquence de la tension d'essai devra être comprise entre 40 Hz et 60 Hz.

Tableau I

Epaisseur nominale de la gaine en mm	Tension d'essai en kV efficaces
Jusqu'à 0,5 inclus	pas d'essai
au-dessus de 0,5 jusqu'à 0,8 inclus	2
au-dessus de 0,8 jusqu'à 1,0 inclus	3
au-dessus de 1,0	5

2.4.2 Essai d'étincelles

Pour cet essai une des électrodes doit être en contact intime avec la surface du câble et doit être constituée, de préférence, par des chaînes à mailles fines.

La tension d'essai devra être appliquée entre cette électrode et le conducteur extérieur ou l'écran.

2.4.2.1 La vitesse avec laquelle le câble passe à travers l'électrode devra être telle que chaque point du câble soit en contact avec l'électrode pendant une durée d'au moins 0,1 seconde.

Le détecteur doit être aménagé de telle sorte que l'indication d'un défaut subsiste, même après la sortie de l'électrode.

2.2 Dielectric strength of core

The dielectric between inner conductors and between inner conductor or conductors and outer conductor or screen of the cable shall withstand without breakdown for 1 minute an alternating voltage, the value of which is specified in the relevant cable specification.

The frequency shall be between 40 Hz and 60 Hz and the waveform shall be sinusoidal.

The rate of increase of the test voltage shall not exceed 2 kV/s. Unscreened twin cables shall be immersed for 1 hour in water (tapwater) at a temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. The voltage shall be applied between each conductor in turn and the water, the other conductor being connected to the water.

For screened twin cables the voltage shall be applied between conductors with the screen connected to either conductor in turn.

For cables having an insulated screen, a test voltage as specified in the relevant cable specification shall be applied between this screen and the outer conductor.

2.3 Insulation resistance

The insulation resistance between the inner conductors and between each inner conductor and the outer conductor or screen shall be measured after an electrification of 1 minute $\pm$ 5 seconds, with a direct voltage of 500 V $\pm$ 50 V.

2.4 Dielectric strength of sheath

In this clause two different test methods are included. Both methods are assumed to be equivalent, either one of them shall be applied.

2.4.1 Test by immersion

The cable shall be immersed in water (tapwater) at a temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ for outer a period of 1 hour.

At the end of this period an alternating test voltage as specified in Table I shall be applied for a period of not less than 1 minute and not more than 2 minutes between the conductor or screen and the water.

The frequency of the test voltage shall be between 40 Hz and 60 Hz.

Table I

Nominal thickness of the sheath in mm	Test voltage in kV r.m.s.
Up to and including 0.5	no test
from 0.5 up to and including 0.8	2
from 0.8 up to and including 1.0	3
over 1.0	5

2.4.2 Spark test

For this test an electrode shall make intimate contact with the surface of the cable and shall preferably consist of a fine link chain.

The test voltage shall be applied between this electrode and the outer conductor or screen.

2.4.2.1 The speed at which the cable passes through the electrode shall be such that every point is in contact with the electrode for not less than 0.1 second.

The detector shall be arranged so as to maintain its indication after the fault has passed out of the electrode.

- 2.4.2.2 La sensibilité minimum de l'appareil à essai d'étincelles doit être telle que le détecteur fonctionne quand un défaut artificiel, créé par un éclateur en série avec une capacité est connecté entre l'électrode et la terre.

Le potentiel de l'électrode doit être de 6 000 V efficaces et la capacité de 350 pF.

L'éclateur doit être constitué par une plaque métallique se déplaçant devant une pointe d'aiguille en 0,02 seconde et la distance entre ces deux électrodes durant ce temps doit être de 5 mm.

- 2.4.2.3 La tension d'essai doit avoir la valeur indiquée dans le tableau II et sa fréquence devra être comprise entre 40 Hz et 60 Hz.

Tableau II

Epaisseur nominale de la gaine en mm	Tension d'essai en kV efficaces
Jusqu'à 0,5 inclus	pas d'essai
au-dessus de 0,5 jusqu'à 0,8 inclus	3
au-dessus de 0,8 jusqu'à 1,0 inclus	5
au-dessus de 1,0	8

2.5 Essai de décharge (Essai de couronne)

- 2.5.1 Un échantillon d'essai d'une longueur approximative de 1 mètre, non comprises les extrémités dénudées, est prélevé et terminé de telle manière que les autres décharges ne puissent se produire aux extrémités ou dans une autre partie du circuit de mesure.

- 2.5.2 La tension appliquée doit avoir une fréquence comprise entre 40 Hz et 60 Hz et doit être accrue graduellement jusqu'à ce qu'une décharge apparaisse. En règle générale, pour déterminer la « tension d'extinction », la tension d'essai devra être diminuée progressivement jusqu'à ce qu'aucune décharge n'apparaisse plus et l'on notera alors la valeur de la tension mesurée à ce moment.

Elle ne doit pas être inférieure à la valeur indiquée dans la spécification particulière du câble considéré. La durée totale d'application de la tension sur le câble ne doit pas excéder 5 minutes.

- 2.5.3 Le circuit de mesure pour cet essai doit être le suivant, ou un circuit similaire donnant les mêmes résultats:

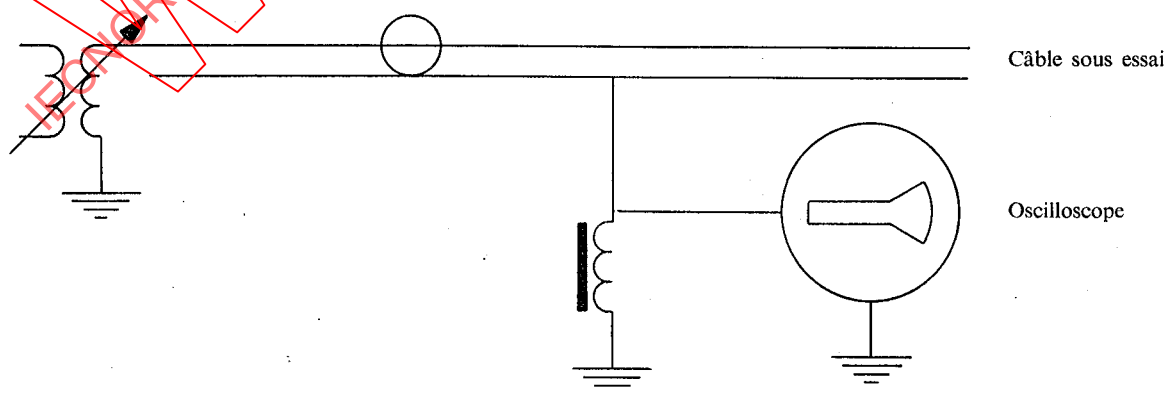


FIG. 1.

2.4.2.2 The minimum sensitivity of the spark testing apparatus shall be such that the detector will operate when an artificial fault device, consisting of a spark gap in series with a capacitor, is connected between the electrode and earth.

The electrode potential shall be 6 000 V r.m.s. and the capacitance of the series capacitor shall be 350 pF.

The spark gap shall consist of a flat metal plate moving past a needle point in 0.02 second and the distance between them during this time shall be 5 mm.

2.4.2.3 The test voltage shall have a value as specified in Table II and its frequency shall be between 40 Hz and 60 Hz.

Table II

Nominal thickness of the sheath in mm	Test voltage in kV r.m.s.
Up to and including 0.5	no test
from 0.5 up to and including 0.8	3
from 0.8 up to and including 1.0	5
over 1.0	8

2.5 Discharge test (Corona test)

2.5.1 A test piece shall be taken with a length of approximately 1 metre exclusive of bared ends, terminated in such a manner that discharges do not occur at the end or in any part of the measuring circuit.

2.5.2 The voltage to be applied shall have a frequency between 40 Hz and 60 Hz and it shall be increased gradually until discharge occurs. In order to determine the "extinction voltage" the test voltage shall be decreased gradually until no discharge occurs and the value of the voltage shall then be noted.

This shall be not less than the value specified in the relevant cable specification. The total duration of the application of the voltage to the cable shall not exceed 5 minutes.

2.5.3 The measuring circuit for this test shall be the following or a similar circuit giving the same results:

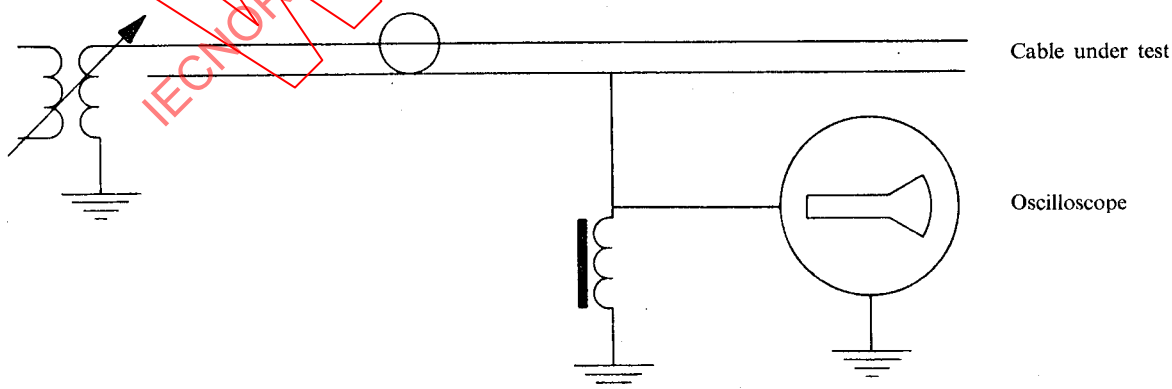


FIG. 1.

La fréquence de résonance parallèle du circuit formé par l'inductance de la bobine de blocage et toute la capacité du circuit (telle que celle du câble par rapport à la terre, la capacité d'entrée de l'oscilloscope, celle des fils de connexion par rapport à la terre, etc.) doit être comprise entre 0,1 MHz et 1 MHz et pour cette fréquence l'impédance du circuit, mesurée aux bornes d'entrée de l'oscilloscope, ne doit pas être inférieure à 0,1 mégohm.

La résistance en courant continu de la bobine de blocage doit être suffisamment faible pour que la mesure ne soit pas influencée par le signal de 40 Hz à 60 Hz, au maximum de sensibilité de l'oscilloscope.

L'oscilloscope doit avoir une sensibilité telle que dans la gamme de fréquences jusqu'à 1 MHz, une tension de couronne de 50 μ V puisse être clairement distinguée et son impédance d'entrée ne doit pas être inférieure à 1 mégohm.

Nota. — Une méthode additionnelle pour l'essai de décharge sera indiquée dans l'annexe à cette publication.

2.6 Capacité et déséquilibre de capacité

2.6.1 Capacité

2.6.1.1 Câbles coaxiaux et câbles en paires sans écran

La capacité par unité de longueur de coaxial et de paire sans écran doit être mesurée avec une précision de $\pm 1\%$ sur une longueur de câble fini, d'au moins cent fois le diamètre sur diélectrique, à une fréquence comprise entre 500 Hz et 1 MHz. La capacité doit être comptée en picofarads par mètre.

2.6.1.2 Câbles en paires sous écran

Pour les paires sous écran la capacité mutuelle (C) entre les deux conducteurs intérieurs doit être mesurée par une méthode directe ou déterminée par la formule:

$$C = \frac{2(C_a + C_b) - C_c}{4}$$

où C_a = capacité par unité de longueur entre le conducteur A et le conducteur B relié à l'écran;

C_b = capacité par unité de longueur entre le conducteur B et le conducteur A relié à l'écran;

C_c = capacité par unité de longueur entre les conducteurs A et B réunis entre eux et l'écran.

La mesure de cette capacité doit être effectuée en accord avec l'article 2.6.1.1.

2.6.2 Déséquilibre de capacité relatif

Le déséquilibre de capacité d'une paire sous écran (C_u) est défini par:

$$C_u = \frac{400(C_a - C_b)}{2(C_a + C_b) - C_c} \%$$

où C_a , C_b et C_c ont la même signification que dans l'article 2.6.1.2.

Il sera déterminé par:

- les mesures de capacité indiquées dans l'article 2.6.1.2, ou
- une méthode directe.

2.7 Vitesse de propagation relative

La vitesse de propagation relative doit être déterminée avec une précision de $\pm 0,5\%$ à une fréquence d'environ 200 MHz, ou à toute autre fréquence requise par la spécification particulière du câble considéré.

Nota. — La vitesse de propagation ne varie pas sensiblement avec la fréquence. En général quand 200 MHz est spécifiée les fréquences comprises dans la gamme de 100 MHz à 400 MHz peuvent être utilisées.

The frequency of parallel resonance for the circuit formed by the inductance of the choke coil, and all capacitance (such as cable capacitance to earth, input capacitance of cathode-ray tube, capacitance of connecting wires to earth, etc.) shall be between 0.1 MHz and 1 MHz and at this frequency the impedance of the circuit measured from the input terminals of the oscilloscope shall be not less than 0.1 megohm.

The resistance of the choke coil shall be sufficiently low so as to avoid interference from the 40 Hz to 60 Hz signal at maximum sensitivity of the cathode-ray tube.

The oscilloscope shall have such a sensitivity at the frequency range up to 1 MHz that corona voltages of 50 μ V can be clearly distinguished and its input impedance shall be not less than 1 megohm.

Note. — An additional test method for the discharge test, at present under consideration, will be included in the appendix to this Publication.

2.6 Capacitance and capacitance unbalance

2.6.1 Capacitance

2.6.1.1 Coaxial and unscreened twin cables

The capacitance per unit length of coaxial and unscreened twin cables shall be measured with an accuracy of $\pm 1\%$ on a length of finished cable at least 100 times the diameter over dielectric at a frequency between 500 Hz and 1 MHz. The capacitance shall be reported in picofarads per metre.

2.6.1.2 Screened twin cables

For screened twin cables the capacitance (C) between the two inner conductors shall be measured by a direct method or be determined by the following formula:

$$C = \frac{2(C_a + C_b) - C_c}{4}$$

Where C_a = capacitance per unit length between conductor A, and conductor B connected to the screen;

C_b = capacitance per unit length between conductor B, and conductor A connected to the screen;

C_c = capacitance per unit length between conductors A and B connected together, and the screen.

The measurement of the capacitance shall be carried out in accordance with Clause 2.6.1.1.

2.6.2 Capacitance unbalance

The capacitance unbalance of screened twin cables (C_u) is defined as:

$$C_u = \frac{400(C_a - C_b)}{2(C_a + C_b) - C_c} \%$$

where C_a , C_b and C_c have the same significance as in Clause 2.6.1.2.

This shall be determined by:

- (a) the capacitance measurements specified in Clause 2.6.1.2 or
- (b) a direct method.

2.7 Velocity ratio

The velocity ratio shall be determined with an accuracy of $\pm 0.5\%$ at a frequency of approximately 200 MHz or at other frequencies when required by the relevant cable specification.

Note. — The velocity ratio is not very sensitive to frequency. In general, when 200 MHz is specified, frequencies in the range of 100 MHz to 400 MHz can be used.

2.8 Impédance caractéristique

- 2.8.1 L'impédance caractéristique doit être déterminée à une fréquence d'environ 200 MHz ou à toute autre fréquence, lorsque la spécification particulière du câble considéré le demande.

Les mesures doivent être effectuées en utilisant la méthode spécifiée dans l'article 2.8.2 ou bien par toute autre méthode permettant une précision de $\pm 2\%$.

Nota. — Lorsqu'une précision meilleure est demandée, elle doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

- 2.8.2 Lorsqu'il est établi que la permittivité du diélectrique ne change pas avec la fréquence, l'impédance caractéristique doit être calculée à partir de la vitesse de propagation relative, mesurée suivant l'article 2.7 et la capacité mesurée suivant l'article 2.6.

L'impédance caractéristique sera calculée d'après la formule:

$$Z_m = \frac{1}{v_r c C} \text{ ohms}$$

dans laquelle v_r = vitesse de propagation relative.

c = vitesse de propagation dans l'espace libre en km/s,

C = capacité en F/m.

Nota 1. — L'impédance mesurée par la méthode ci-dessus est « l'impédance caractéristique moyenne Z_m » de la longueur de câble mesurée. Elle est définie comme la moyenne arithmétique des impédances caractéristiques élémentaires de la longueur de câble mesurée.

Nota 2. — « L'impédance caractéristique effective Z_e » à une fréquence particulière est une fonction des variations des impédances caractéristiques élémentaires et leurs distances respectives. Aux fréquences élevées la valeur de cette impédance peut différer considérablement de la valeur de l'impédance moyenne. Les différences entre ces valeurs sont mesurées par les méthodes indiquées à l'article 2.9: Uniformité de l'impédance.

Nota 3. — A titre d'information, quelques méthodes appropriées de mesure de l'impédance caractéristique sont données dans l'annexe à ce document.

2.9 Uniformité de l'impédance

Le but de cet essai est de déterminer les variations de l'impédance caractéristique effective, Z_e , dans une bande de fréquence déterminée.

Méthode d'essai: à l'étude.

2.10 Exposant d'affaiblissement

L'exposant d'affaiblissement doit être déterminé par une méthode appropriée permettant une précision de $\pm 5\%$ (de la valeur de l'affaiblissement en dB) et à une fréquence de 200 MHz et/ou 3 000 MHz, comme indiqué dans les spécifications particulières du câble considéré. Une méthode appropriée pour chacune de ces fréquences est donnée dans l'annexe à ce document.

2.11 Déséquilibre de transmission

A l'étude.

2.12 Efficacité d'écran

A l'étude.

3. ESSAIS CHIMIQUES

Lorsque les conditions particulières concernant la résistance à l'huile, à l'eau salée, à l'immersion dans l'essence, sont applicables, elles doivent faire l'objet d'un accord entre le client et le constructeur.

2.8 Characteristic impedance

- 2.8.1 The characteristic impedance shall be determined at approximately 200 MHz, or at other frequencies when required by the relevant cable specification.

The measurement shall be carried out by using the method specified in Clause 2.8.2 or by using another method providing an accuracy of $\pm 2\%$.

Note. — Where closer accuracies for the measurements are required, they shall be agreed upon between purchaser and manufacturer.

- 2.8.2 Where it is known that the permittivity of the dielectric does not change with frequency the characteristic impedance shall be calculated from the velocity ratio measured in accordance with Clause 2.7 and the capacitance measured in accordance with Clause 2.6. The characteristic impedance shall be calculated from:

$$Z_m = \frac{1}{v_r c C} \text{ ohms}$$

where v_r = velocity ratio, and

c = velocity of propagation in free space in km/s,

C capacitance in F/m

Note 1. — The above method measures the “mean characteristic impedance, Z_m ”, of the measured length of cable. This is defined as the arithmetical mean of the local characteristic impedances along the length of that cable.

Note 2. — The “effective characteristic impedance, Z_e ”, at any frequency is a function of the variations of the local characteristic impedance and also of the spacing of the variations. At high frequencies this impedance may differ considerably from the mean characteristic impedance. These differences are measured by the methods of Clause 2.9: Uniformity of impedance.

Note 3. — For guidance some suitable methods for measuring characteristic impedances will be given in the Appendix.

2.9 Uniformity of impedance

The object of this test is to determine the variation of effective characteristic impedance, Z_e , through a specified frequency band.

Test method: Under consideration.

2.10 Attenuation constant

The attenuation constant shall be determined by a suitable method providing an accuracy of $\pm 5\%$ (on the value of attenuation in dB) and at a frequency of 200 MHz and/or 3 000 MHz as specified in the relevant cable specification. Suitable methods for each of these frequencies will be given in the Appendix.

2.11 Transmission unbalance

Under consideration.

2.12 Screening efficiency

Under consideration.

3. CHEMICAL TESTS

When special requirements concerning resistance to oil, salt water, gasoline immersion are applicable, they shall be agreed upon between customer and manufacturer.

4. ESSAIS CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE

4.1 Stabilité en capacité

L'objet de cet essai est de déterminer, pour certains câbles du type semi-aéré, la stabilité de la capacité du câble, lorsque l'on fait varier la température de celui-ci.

Cet essai tient compte:

- a) des variations irréversibles dues au fluage du diélectrique et de l'extension du conducteur extérieur.
- b) des variations réversibles dues à la dilatation ou la contraction et des variations cycliques dans les propriétés électriques du diélectrique.

Cet essai doit être exécuté conformément à l'essai N de la publication N° 68 de la C.E.I.

4.1.1 La capacité d'une longueur de 15 mètres de câble doit être mesurée dans les conditions atmosphériques normales d'essai.

4.1.2 Le câble doit alors être soumis trois fois au cycle suivant:

- 4 à 8 heures à haute température,
- 4 à 24 heures à température normale,
- 4 à 8 heures à basse température
- 4 à 24 heures à température normale

Les valeurs de ces températures doivent être indiquées dans les spécifications particulières des câbles considérés. La durée de séjour à haute et basse température devra être suffisante pour que la stabilité de la température de l'échantillon soit atteinte.

4.1.3 Après chacune de ces périodes et pendant que le câble est encore à la température voulue, des mesures de capacité devront être exécutées. La variation de capacité, durant et après l'essai, ne doit pas excéder les limites imposées dans la spécification particulière du câble considéré.

4.2 Stabilité en affaiblissement

L'objet de cet essai est de déterminer la stabilité de l'affaiblissement lorsque la température du câble est modifiée.

Cet essai tient compte:

- a) des variations irréversibles dues au fluage du diélectrique et de l'extension du conducteur extérieur;
- b) des effets de la corrosion sur les résistances de contact entre les différents éléments du conducteur extérieur.

Cet essai doit être exécuté conformément à l'essai N de la publication N° 68 de la C.E.I.

4.2.1 L'affaiblissement d'un échantillon de câble doit être mesuré dans les conditions atmosphériques normales d'essai.

4.2.2 Le câble doit alors être soumis trois fois au cycle suivant:

- 4 heures à haute température,
- 4 heures à température normale,
- 4 heures à basse température,
- 4 heures à température normale.

La valeur de ces températures doit être indiquée dans la spécification particulière du câble considéré.

4.2.3 A la fin du dernier cycle, l'affaiblissement sera mesuré. Le câble devra alors être enroulé et déroulé 20 fois autour d'un mandrin ayant un diamètre égal à 10 fois le diamètre nominal extérieur du câble, et l'affaiblissement devra être à nouveau mesuré. Les variations par rapport à la valeur mesurée, avant cet essai, ne devront pas excéder les valeurs indiquées dans la spécification particulière du câble considéré.

4. CLIMATIC AND MECHANICAL ROBUSTNESS TESTS

4.1 Capacitance stability

The purpose of this test is to determine for certain semi-air-spaced cables the stability of capacitance when the temperature of the cable is varied.

This test takes into account:

- (a) irreversible changes due to plastic flow of the dielectric and stretching of the outer conductor;
- (b) reversible changes due to thermal expansion or contraction, and cyclic variations in the electrical properties of the dielectric.

This test shall be carried out in accordance with Test N of I.E.C. Publication No. 68.

4.1.1 The capacitance of a 15 metre length of the cable shall be measured at standard atmospheric conditions for testing.

4.1.2 The cable shall then be subjected three times to the following cycle:

- 4 to 8 hours at high temperature,
- 4 to 24 hours at standard temperature,
- 4 to 8 hours at low temperature,
- 4 to 24 hours at standard temperature.

The low and high temperatures shall be specified in the relevant cable specification. The period of exposure to high or low temperature shall be long enough for the sample to reach a steady temperature.

4.1.3 Capacitance measurements shall be made after each step at the respective temperature. The capacitance change during and after the test shall not exceed the limits specified in the relevant cable specification.

4.2 Attenuation stability

The purpose of this test is to determine the stability of attenuation when the temperature of the cable is varied.

This takes into account:

- (a) irreversible changes due to plastic flow of the dielectric and stretching of the outer conductor;
- (b) the effects of corrosion on the contact resistance between parts of the outer conductor.

This test shall be carried out in accordance with the Test N of I.E.C. Publication No. 68.

4.2.1 The attenuation of a cable sample shall be measured at standard atmospheric conditions for testing.

4.2.2 The cable shall then be subjected three times to the following cycle:

- 4 hours at high temperature,
- 4 hours at standard temperature,
- 4 hours at low temperature,
- 4 hours at standard temperature.

The low and high temperatures shall be specified in the relevant cable specification.

4.2.3 At the end of the last cycle the attenuation shall be measured. The cable shall then be wrapped and unwrapped 20 times around a mandrel whose diameter is 10 times the nominal outside diameter of the cable and the attenuation shall again be measured. The deviations from the attenuation measured before the test shall not exceed the value specified in the relevant cable specification.

4.3 Essais de stabilité thermique

Le but de ces essais est de déterminer dans quelle mesure les propriétés électriques et mécaniques des câbles sont influencées par l'exposition de ceux-ci aux températures extrêmes.

Comme les exigences peuvent varier avec le type de câble, la spécification particulière de chaque câble prescrira, ou non, que:

- a) La mesure de l'affaiblissement avant et après l'essai à haute température est applicable. Cette mesure a pour but de connaître l'influence de la température sur les propriétés électriques.
- b) Les essais à haute et à basse température sont exécutés sur le même échantillon, qui sera tout d'abord soumis à l'essai à haute température, puis laissé à refroidir dans les conditions normales d'essai, et finalement soumis à l'essai à basse température.

Si les mesures d'affaiblissement mentionnées au paragraphe a) ne sont pas prescrites, le but de ces essais est d'évaluer seulement l'importance des dommages mécaniques subis par les matériaux constituant le diélectrique et la gaine.

4.3.1 Essai à haute température

Cet essai doit être exécuté conformément à l'essai de la publication N° 68 de la C.E.I.

4.3.1.1 Echantillons soumis aux essais

Les échantillons à soumettre aux essais seront prélevés sur des câbles complets et devront avoir les longueurs suivantes:

- a) Quand les essais à haute et à basse température seront exécutés sur des échantillons séparés: au moins 75 fois le diamètre extérieur des câbles.
- b) Quand les essais à haute et à basse température sont exécutés sur le même échantillon: au moins 150 fois le diamètre extérieur du câble, lorsque ce diamètre est inférieur à 12,7 mm, et 120 fois le diamètre extérieur du câble, lorsque ce diamètre est égal ou supérieur à 12,7 mm.
- c) Lorsque la mesure de l'affaiblissement est prescrite par la spécification particulière du câble considéré après l'essai à haute température, un échantillon additionnel pourra être soumis à cet essai et sa longueur devra être choisie de façon à permettre la mesure de l'affaiblissement avec une précision suffisante. Pendant l'exposition à haute température, l'échantillon ne devra pas être courbé à un diamètre inférieur à 30 fois le diamètre nominal extérieur du câble.

4.3.1.2 Mesures avant les essais

Lorsque la spécification indique une limite de l'accroissement de l'affaiblissement après l'exposition à haute température, l'affaiblissement de l'échantillon doit être mesuré à une fréquence de 3 000 MHz avant l'exposition à haute température.

4.3.1.3 Durée d'exposition et température des essais

Les échantillons seront soumis à cet essai pendant une durée de 7 jours à la température de:

$100^{\circ}\text{C} +_{-4}^{\circ}\text{C}$ pour les câbles avec diélectrique en polyéthylène,

$200^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ pour les câbles avec diélectrique en polytétrafluoroéthylène.

4.3.1.4 Reprise

A la fin de la période spécifiée les échantillons seront enlevés de la chambre et mis à refroidir pendant une heure sous les conditions atmosphériques normales d'essai.

4.3 Thermal stability tests

The object of these tests is to determine to what degree the electrical and mechanical properties of the cables are influenced by exposure to extreme temperatures.

As the requirements may vary with the type of cable the relevant specification shall prescribe whether or not:

- (a) measurement of attenuation before and after high temperature test is applicable.
This measurement is intended to check the influence of temperature on the electrical properties.
- (b) The test at high and the test at low temperature are carried out upon the same sample, which will be subjected first to the high temperature test, then allowed to cool under standard conditions and finally to the low temperature test.

If measurement of attenuation as mentioned in sub-paragraph (a) is not prescribed the object of these tests is only to check mechanical damage of the material of dielectric and sheath.

4.3.1 High temperature test

This test shall be carried out in accordance with Test B of I.E.C. Publication No. 68.

4.3.1.1 Specimens to be tested

The specimens to be tested shall be taken from the complete cable and shall have the following length:

- (a) When high and low temperature tests are carried out on separate samples: at least 75 times the outside diameter of the cable.
- (b) When high and low temperature tests are carried out on the same sample: at least 150 times the outside diameter of the cable, where it is less than 12.7 mm (0.5 in) and 120 times the outside diameter of the cable, where it is 12.7 mm (0.5 in) or greater.
- (c) Where measurement of attenuation is required by the relevant cable specification after the high temperature test, an additional sample shall be subjected to this test, its length being chosen so as to permit the measurement of attenuation with sufficient accuracy. During high temperature exposure the sample shall not be coiled to a diameter less than 30 times the nominal outside diameter of the cable.

4.3.1.2 Measurements prior to test

Where there is a specified limit to the increase in attenuation after exposure to high temperature, the attenuation of the sample shall be measured at a frequency of 3 000 MHz before exposure to the high temperature.

4.3.1.3 Period of exposure and temperature

The specimens shall be subjected to this test for 7 days at a temperature of:

$100^{\circ}\text{C}^{+0}_{-4}$ for cables with dielectric of polyethylene

$200^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ for cables with dielectric of polytetrafluoroethylene.

4.3.1.4 Recovery

At the end of the specified period the specimens shall be removed from the chamber and allowed to cool for 1 hour under standard atmospheric conditions for testing.

4.3.1.5 Exigences après essai

a) *Electriques*

Lorsque la spécification particulière l'exige, l'affaiblissement à 3 000 MHz devra être mesuré de nouveau. L'accroissement de l'affaiblissement par rapport à la valeur mesurée précédemment devra être inférieur à la valeur indiquée dans la spécification particulière du câble considéré.

b) *Mécaniques*

La longueur entière devra être enroulée autour d'un mandrin ayant un diamètre égal à 10 fois le diamètre nominal extérieur du câble, puis ensuite déroulée. Cette opération sera répétée 10 fois au cours d'une période de 5 minutes.

Il ne devra pas être constaté de détérioration du diélectrique ou de la gaine.

Nota. — Des exigences additionnelles concernant les tensions internes des gaines en p.v.c. sont à l'étude.

4.3.2. Essais à basse température

Cet essai doit être exécuté à l'essai A de la publication N° 68 de la C.E.I.

4.3.2.1 *Echantillons à soumettre aux essais*

Les échantillons devront être prélevés sur un câble complet et devront avoir une longueur de 150 fois le diamètre extérieur du câble pour les câbles dont le diamètre est inférieur à 12,7 mm, ou 120 fois ce diamètre, si celui-ci est égal ou supérieur à 12,7 mm.

Pendant l'exposition à basse température l'échantillon ne devra pas être courbé à un diamètre inférieur à 30 fois le diamètre nominal extérieur du câble.

4.3.2.2 *Durée et température d'exposition*

Les échantillons seront soumis pendant 20 heures à la température indiquée dans la spécification particulière du câble considéré.

A la fin de la période indiquée et tandis qu'il est encore dans la chambre froide, le câble devra être enroulé autour d'un mandrin ayant un diamètre approximativement égal à 10 fois le diamètre nominal extérieur du câble avec une vitesse d'un tour en 4 secondes approximativement. L'enroulement sera de trois spires serrées pour les câbles ayant un diamètre nominal extérieur inférieur à 12,7 mm et deux spires serrées pour les câbles ayant un diamètre égal ou supérieur à 12,7 mm.

4.3.2.3 *Exigences après essais*

Après que le câble aura été retiré de la chambre froide, il ne devra être constaté aucune détérioration mécanique du diélectrique, ou de la gaine.

4.4 Essai de fluage

Cet essai détermine la résistance du diélectrique à la déformation mécanique à haute température. Pour des raisons de commodité (ou par convention) le déplacement du conducteur intérieur, chargé comme il est indiqué dans l'article 4.4.1, est pris comme une mesure arbitraire du fluage plastique à escompter lorsque le diélectrique du câble est sujet à des tensions mécaniques aux températures élevées.

Cet essai doit être exécuté conformément à l'essai B de la publication N° 68 de la C.E.I.

4.3.1.5 *Requirements after test*

(a) *Electrical*

If required by the relevant cable specification the attenuation at 3 000 MHz shall be re-measured. The increase in attenuation over the previously measured value shall be less than the limit specified in the relevant cable specification.

(b) *Mechanical*

The entire length of cable shall be wrapped around a mandrel with a diameter of 10 times the nominal outside diameter of the cable, and then unwrapped. This shall be done 10 times in a period of 5 minutes.

There shall be no mechanical damage of the dielectric or the sheath.

Note. — Additional requirements with regard to internal stresses of p.v.c. sheaths are still under consideration.

4.3.2 *Low temperature test*

This test shall be carried out in accordance with Test A of I.E.C. Publication No. 68.

4.3.2.1 *Specimens to be tested*

The specimens to be tested shall be taken from the complete cable and shall have a length of at least 150 times the outside diameter of the cable, where it is less than 12.7 mm (0.5 in) and 120 times the outside diameter of the cable, where it is 12.7 mm (0.5 in) or greater.

During low temperature exposure the sample shall not be coiled to a diameter less than 30 times the nominal outside diameter of the cable.

4.3.2.2 *Period of exposure and temperature*

The specimens shall be subjected to this test for 20 hours at a temperature as specified in the relevant cable specification.

At the end of the specified period and while still within the cold chamber the cable shall be wrapped around a mandrel with a diameter of 10 times the nominal outside diameter of the cable at a velocity of approximately 1 turn in 4 seconds. For cables having a nominal outside diameter less than 12.7 mm (0.5 in) there shall be three close turns around the mandrel; for cables of 12.7 mm (0.5 in) or greater there shall be two close turns.

4.3.2.3 *Requirement after test*

After removal from the chamber there shall be no mechanical damage of the dielectric of the sheath.

4.4 *Flow test*

This test determines the resistance of the dielectric to mechanical distortion at high temperature. For convenience the displacement of the inner conductor when loaded as in Clause 4.4.1, is taken as an arbitrary measure of the plastic flow to be expected when the cable dielectric is subject to mechanical stress at high temperatures.

This test shall be carried out in accordance with Test B of I.E.C. Publication No. 68.

- 4.4.1 Une longueur de câble égale à 30 fois le diamètre nominal extérieur de celui-ci doit être soumise à une température de $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant une durée de $7 \frac{1}{2}$ heures. Pendant ce temps, un poids de valeur indiquée dans la spécification particulière du câble considéré doit être attaché à chacune des extrémités du conducteur intérieur pour un câble coaxial et à chaque extrémité des conducteurs réunis entre eux pour un câble en paires. L'ensemble doit être courbé symétriquement avec les poids, pendant librement, sur un mandrin d'essai placé horizontalement et d'un diamètre d'environ 10 fois le diamètre extérieur du câble.
- 4.4.2 A la fin de cette période, les poids doivent être ôtés et le câble enlevé du montage ci-dessus et mis à refroidir, sans être redressé, pendant une heure, sous les conditions atmosphériques normales d'essai. Le conducteur intérieur d'un câble coaxial ne doit pas être excentré de plus de 15 % du diamètre nominal sur diélectrique, mesuré suivant la direction du fluage. La distance entre chacun des deux conducteurs d'un câble en paires et l'écran ne doit pas être inférieure à celle indiquée dans la spécification particulière du câble considéré.

4.5 Résistance aux rayons ultra-violets

A l'étude.

4.6 Stabilité dimensionnelle

A l'étude.

5. MARQUAGE

5.1 Couleur de la gaine

A moins de spécifications contraires, la couleur des gaines doit être noire.

5.2 Indication de type

Le câble doit être marqué d'une façon permanente, le long de celui-ci, avec le nom ou le symbole du constructeur et le numéro de type. Ces marques seront séparées par un espace nu de:

- 50 cm, au maximum, pour un câble non armé
- 20 cm, au maximum, pour un câble armé.

Nota 1. — Le marquage devra être appliqué de telle sorte qu'il n'influence pas les propriétés du câble.

Nota 2. — Les câbles armés peuvent être marqués par l'insertion d'un ruban approprié, imprimé avec les informations spécifiées par l'article 5.2 et placé entre la gaine et le conducteur extérieur. Ce ruban peut aussi être placé entre l'armure et la gaine pourvu que ses indications soient lisibles lorsqu'on enlève l'armure.

5.3 Numérotation de type

Les câbles coaxiaux pour fréquences radioélectriques, conformes aux spécifications de la C.E.I., devront être distingués par un numéro de type défini comme ci-dessous:

- a) le numéro de la Publication de la C.E.I.;
- b) les lettres « IEC »;
- c) un nombre indiquant la valeur de l'impédance caractéristique nominale;
- d) un nombre correspondant approximativement au diamètre nominal sur diélectrique en millimètres;
- e) un numéro de série.

Exemple : Un câble ayant une impédance de 50 ohms et un diamètre sur diélectrique de 7,25 mm et étant le premier type qui ait ces caractéristiques doit être indiqué comme suit:

96 IEC 50-7-1

Nota. — La numérotation des câbles en paires est à l'étude.

4.4.1 A length of cable 30 times the outer diameter of the cable shall be submitted to a temperature of $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ for a period of $7\frac{1}{2}$ hours. During this time a weight as specified in the individual cable sheets, shall be attached to each end of the inner conductor of a coaxial cable or each end of the joined inner conductors of a twin conductor cable. The whole shall be bent symmetrically with the weight hanging free over a horizontal test mandrel with a diameter of approximately 10 times the outer diameter of the cable.

4.4.2 At the end of this period the weights shall be removed and the cable shall be removed from the oven and without bending allowed to cool for 1 hour under standard atmospheric conditions for testing.

The inner conductor of a coaxial cable shall not be displaced from the centre by a distance greater than 15% of the nominal diameter of the dielectric measured along the direction of flow. The distance between either conductor of a twin cable and the shield shall be not less than that specified in the individual cable sheets.

4.5 Resistance to ultra-violet rays

Under consideration.

4.6 Dimensional stability

Under consideration.

5. MARKING

5.1 Colour of the sheath

The colour of the sheaths shall be black, unless otherwise specified.

5.2 Type indication

The cable shall be permanently marked along its length with the name or symbol of the manufacturer and the type number, which shall be applied with a clear space of:

- maximum 50 cm on unarmoured cable, and
- maximum 20 cm on armoured cable.

Note 1. — The marking shall be applied in such a way that it shall not influence any property of the cable.

Note 2. — Armoured cable may be marked by the insertion of a suitable tape printed with the information specified in Clause 5.2, between sheath and outer conductor.
Alternatively, the tape may be placed between the armour and the sheath provided the tape is legible after removal of the armour.

5.3 Type number

R.F. coaxial cables which conform to I.E.C. specifications shall be indicated by type numbers as follows:

- a) the number of the I.E.C. publication;
- b) the letters "IEC";
- c) a number giving the rated characteristic impedance;
- d) a number corresponding approximately to the rated diameter over dielectric in millimetres;
- e) a serial number.

Example: A cable with an impedance of 50 ohms, diameter over dielectric of 7.25 mm and being the first type with these characteristics, shall be indicated as follows:

96 IEC 50-7-1

Note. — The type-numbers for twin cables are under consideration.

ANNEXE

MÉTHODES DE MESURE ADDITIONNELLES

Les méthodes décrites dans la présente annexe permettent de satisfaire aux prescriptions relatives à la précision des essais spécifiés dans la première partie. Ces méthodes ne sont pas obligatoires, sauf si le texte l'indique explicitement.

101. IMPÉDANCE CARACTÉRISTIQUE

101.1 Impédance caractéristique moyenne (Z_m)

L'impédance caractéristique moyenne Z_m , peut être déterminée à 200 MHz par différentes méthodes, dans lesquelles:

1. La capacité est mesurée (à une fréquence comprise entre 500 Hz et 1 MHz).

Note. — Lorsque la mesure de la capacité est effectuée sur un échantillon dont la longueur est une fraction appréciable de la longueur d'onde, la valeur mesurée sera corrigée en tenant compte de la longueur électrique de l'échantillon.

2. La fréquence de résonance, de l'ordre de 200 MHz correspondant à une longueur physique de câble est déterminée par une méthode de variation de la fréquence sur une longueur de câble constante.

Un échantillon de câble d'une longueur convenable est connecté à un générateur de signaux et à un détecteur aperiodique, le générateur de signaux étant préalablement étalonné en fréquence. Avec l'extrémité du câble ouverte ou court-circuitée, les variations de la fréquence appliquée ont pour résultat une variation périodique de l'impédance d'entrée du câble apparaissant comme une variation périodique dans la lecture (déviations) du détecteur. Les différences de fréquence entre deux minimums (ou deux maximums) indiquent la longueur électrique du câble et, par suite, la vitesse de propagation des ondes sur celui-ci. A partir de ces différences de fréquence Δf et de la capacité C de l'échantillon de câble en essais, on peut calculer, comme suit, l'impédance caractéristique moyenne:

$$Z_m = \frac{1}{2 \Delta f \cdot C}$$

dans laquelle Z_m = l'impédance moyenne en ohms

Δf = la différence de fréquence en hertz

C = la capacité de l'échantillon du câble en farads

Afin d'évaluer Δf avec une précision suffisante, la différence de fréquence $\Delta f'$ pour n intervalles de variation peut être mesurée. On a alors:

$$\Delta f = \frac{\Delta f'}{n}$$

APPENDIX

ADDITIONAL MEASURING METHODS

The methods described in this Appendix are capable of meeting the accuracy requirements of the tests specified in Part 1. They are not mandatory except where explicitly stated.

101. CHARACTERISTIC IMPEDANCE

101.1 Mean characteristic impedance (Z_m)

The mean impedance, Z_m , can be measured at 200 MHz (Mc/s) by methods in which:

1. The capacitance is measured (at a frequency between 500 Hz (c/s) and 1 MHz (Mc/s)).

Note. — Where capacitance measurements are made on a sample, the length of which is an appreciable fraction of a wavelength, the measured value shall be corrected taking into account the electrical length of the sample.

2. The resonant frequency of the order of 200 MHz (Mc/s) corresponding to a physical length of cable is determined by a method of changing the frequency with the cable length constant.

A sample of cable with suitable length is connected to a signal generator and an aperiodic detector, the signal generator being previously calibrated for frequency. With the end of the cable open or short-circuited, variation of the frequency results in a periodic change of the input impedance of the cable, which is apparent as a periodic variation of the reading of the detector. The frequency difference between two minima (or two maxima) indicates the electrical length of the cable, and therefore the velocity of wave propagation on it. Between this frequency difference Δf and the capacitance C of the length of the cable, the mean impedance can be calculated as follows:

$$Z_m = \frac{1}{2 \Delta f C}$$

where: Z_m = mean impedance in ohms

Δf = frequency difference in hertz (cycles per second)

C = capacitance of cable sample in farads

In order to evaluate Δf sufficiently accurately, the frequency difference $\Delta f'$ for n periods of variation may be measured, hence:

$$\Delta f = \frac{\Delta f'}{n}$$

102. UNIFORMITÉ D'IMPÉDANCE

Introduction

Si un câble n'est pas régulier longitudinalement, le terme « impédance caractéristique » n'a pas de signification bien précise et il est préférable d'introduire le concept d'une « impédance caractéristique locale », Z_x . L'impédance caractéristique locale, en un point du câble, est l'impédance caractéristique correspondant à celle d'une longue ligne régulière ayant la section transversale existant en ce point du câble.

Les variations de Z_x le long du câble se traduisent par des variations de Z_e , « impédance caractéristique effective », mesurée à une fréquence donnée. La variation de Z_x le long d'une longueur de câble spécifique peut être considérée comme la somme d'une série de variations sinusoïdales et cosinusoïdales ayant dans le câble des périodes qui sont des fractions entières de la longueur de l'échantillon de câble. On peut montrer qu'à une fréquence d'essai donnée seules les composantes de la variation de Z_x , ayant une période égale à la demi-longueur d'onde du signal appliqué au câble peuvent affecter Z_e . Ceci conduit à conclure que cet essai de Z_e doit être effectué à la fréquence de travail.

Les méthodes d'essai pour déterminer l'uniformité de l'impédance peuvent être divisées en deux groupes.

Le premier groupe peut être utilisé pour déterminer l'uniformité de Z_x , qui est une propriété du câble indépendante de la fréquence (en négligeant l'effet pelliculaire) et le second groupe dans lequel les variations de Z_e avec la fréquence sont mesurées.

Note. — En raison de l'affaiblissement, les méthodes 2.1 et 2.2, indiquées ci-dessous, ne donnent pratiquement d'indications que sur les premiers mètres des câbles en mesure, les irrégularités plus éloignées étant pratiquement masquées par cet affaiblissement.

102.1 Méthode par impulsions (Uniformité de Z_x)

Cette méthode utilise la bande de fréquence composant l'impulsion appliquée. Les harmoniques au-dessus de 40 MHz peuvent être très faibles, aussi cette méthode d'essai sera insensible aux composantes des variations de Z_x d'un câble avec diélectrique massif en polyéthylène ayant une périodicité de moins de 2,5 m.

L'uniformité d'impédance sera déterminée en envoyant le long du câble une impulsion d'une durée de 0,05 à 0,2 microseconde. Les mesures devront être faites à chaque extrémité du câble. Le câble devra être terminé, à l'extrémité opposée à celle utilisée pour les mesures, sur un réseau reproduisant son impédance caractéristique.

Avec cette méthode, il est possible de tenir compte de l'affaiblissement et de procéder à un étalonnage en créant artificiellement un déséquilibre connu aux deux extrémités du câble.

102.2 Méthode par résonance (Uniformité de Z_x)

Le câble est court-circuité à l'une de ses extrémités. Les fréquences successives de résonance du câble sont déterminées à l'autre extrémité. Dans le cas d'un câble homogène, les intervalles de fréquence sont égaux et dépendent seulement de la vitesse de propagation et de la longueur du câble. Toutefois, si le câble n'est pas homogène, il y aura des différences dans les intervalles entre les fréquences de résonance.

Les formules suivantes relient la valeur moyenne quadratique des discontinuités longitudinales de l'impédance caractéristique à celles de ces différences.

- 1) Si les fréquences de résonance successives sont désignées par:

$$f_1; f_2 \dots \dots \dots f_{n-1}; f_n; f_{n+1}$$

102. UNIFORMITY OF IMPEDANCE

Introduction

If a cable is not uniform longitudinally, the term "characteristic impedance" does not have a unique meaning and it is convenient to introduce the concept of "local characteristic impedance", Z_x . The Z_x at any section of the cable is the Z_x which would correspond to a long uniform line having the cross-section existing at that section of the cable.

The variations of Z_x along a cable lead to variations in Z_e , the "effective characteristic impedance" measured at any given frequency. The variations of Z_x along any specific cable length can be considered as the sum of a series of sine and cosine variations having periods in the cable which are integral fractions of the length of the cable sample. It can be shown that, at any given test frequency, only those components of the variation of Z_x which have a periodicity equal to a half wavelength of the radio signal in the cable can affect Z_e . This leads to the conclusion that tests of Z_e must be carried out at the working frequency.

The test methods to determine the uniformity of impedance can be divided into two groups.

The first group can be used in order to determine the uniformity of Z_x , which is a cable property which is independent of frequency (neglecting skin effect) and the second group in which the variations of Z_e with frequency are measured.

Note. — Due to the attenuation, the methods 2.1 and 2.2, given below, may not necessarily reveal the irregularities along the complete length of the cable under test.

102.1 Pulse method (Uniformity of Z_x)

This method uses the band of frequencies of which the applied pulse is composed. The harmonics at frequencies above about 40 MHz (Mc/s) may be very small, so this test method will be insensitive to those components of the variation in Z_x of a solid polyethylene dielectric cable which have a periodicity of less than about 2.5 m.

The uniformity of impedance shall be determined by sending along the cable impulses of duration between 0.05 to 0.2 microseconds. The measurements shall be made from each end of the cable. The cable shall be terminated at the remote end with a network simulating its characteristic impedance.

With this method it is possible to take into account the attenuation and to carry out a calibration by introducing the same known mismatch at each end of the cable.

102.2 Resonance method (Uniformity of Z_x)

The cable is short-circuited at one end. The successive resonant frequencies are determined at the other end of the cable. In the case of a homogenous cable, the frequency intervals are equal and dependent only on the velocity of propagation and the length of the cable. However, if the cable is not homogeneous, there will be differences in the interval between resonant frequencies.

The following formulae allow the r.m.s. value of the longitudinal discontinuity of the characteristic impedance to be inferred from these differences.

1) Let the consecutive resonant frequencies be designated by:

$$f_1; f_2 \dots f_{n-1}; f_n; f_{n+1}$$

- 2) Pour la séquence des $n+1$ fréquences de résonance, il y a n différences de fréquence, telles que :

$$\Delta f_i = f_{i+1} - f_i$$

formées lorsque i varie de 1 à n .

- 3) Par suite des hétérogénéités du câble, ces différences ne sont pas constantes. Une valeur moyenne de la différence de fréquence est représentée par la moyenne arithmétique de tous les Δf_i .

$$\bar{\Delta f} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \Delta f_i$$

- 4) Statistiquement, la valeur de la moyenne quadratique pour la moyenne des variations de la grandeur mesurée Δf est donnée par :

$$\sqrt{(\delta f)^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\delta f_i)^2}{n-1}}$$

dans laquelle $\delta f_i = \Delta f_i - \bar{\Delta f}$

La relation entre cette valeur moyenne quadratique des déviations des fréquences de résonance et la valeur moyenne quadratique (s_m) des taux d'ondes stationnaires est donnée dans l'équation suivante :

$$5) \quad s_m = 1 + \pi e^{\alpha l} \cdot \sqrt{\cosh 2\alpha l \cdot \frac{2 \sinh 4\alpha l}{4\alpha l + \sinh 4\alpha l}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\Delta f}\right)^2}$$

Pour des câbles ayant un affaiblissement $\alpha l < 5$ dB, l'équation (5) peut être simplifiée et devient :

$$6) \quad s_m \approx 1 + \pi \left(1 + \frac{2}{3} \alpha l + 4 \alpha^2 l^2\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\Delta f}\right)^2}$$

Dans le cas où s_m est ≈ 1 , la marge d'erreur entre l'approximation obtenue en utilisant la formule 6) et la valeur exacte calculée d'après l'équation 5) est inférieure à 5%.

Les valeurs mesurées ne sont pas influencées par la qualité du court-circuit et la méthode est applicable jusqu'aux fréquences de quelques milliers de mégahertz. La précision de cette méthode dépend seulement de celle avec laquelle la fréquence est mesurée et aussi de celle avec laquelle les fréquences de résonance ont été ajustées.

102.3 Méthode par balayage de fréquence (Uniformité de Z_0)

Dans cette méthode, un oscillateur à balayage de fréquence est connecté à l'entrée du câble en essai et les variations de la tension réfléchie sont observées.

La mesure doit de préférence être exécutée sur une longueur complète de fabrication.

Le câble est terminé sur une impédance variable approximativement égale à l'impédance caractéristique moyenne et cette terminaison est ajustée de telle sorte que les réflexions observées soient minimales. La mesure devra être effectuée aux deux extrémités du câble en essai. Aucun des coefficients de réflexion alors mesuré ne doit excéder la valeur spécifiée.

Note. — Bien que la méthode donnée par l'article 2.4 figure sur des feuilles particulières qui ont déjà été établies, le Sous-Comité 46A a exprimé l'opinion qu'à l'avenir la préférence sera donnée aux méthodes par balayage de fréquence.

- 2) From the sequence of the resonant frequencies $n+1$, n frequency differences:

$$\Delta f_i = f_{i+1} - f_i$$

are formed, with i varying from 1 to n .

- 3) Owing to the heterogeneities of the cable, these frequency differences are not constant. A mean value of the frequency differences is represented by the arithmetic mean value of all Δf_i .

$$\bar{\Delta f} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \Delta f_i$$

- 4) Statistically, the value of the r.m.s. value of the mean variation of the measured values of Δf is given by:

$$\sqrt{(\delta f)^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\delta f_i)^2}{n-1}}$$

where: $\delta f_i = \Delta f_i - \bar{\Delta f}$

The relation between this r.m.s. value of the deviations in the resonant frequencies to the r.m.s. value (s_m) of the voltage standing wave ratios is given by the following equation:

$$5) \quad s_m = 1 + \pi e^{\alpha l} \cdot \sqrt{\cosh 2\alpha l \cdot \frac{2 \sinh 4\alpha l}{4\alpha l + \sinh 4\alpha l} \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\Delta f}\right)^2}}$$

When cables, whose attenuation is $\alpha l < 5$ dB, are to be measured, equation (5) can be simplified to:

$$6) \quad s_m \approx 1 + \pi \left(1 + \frac{2}{3} \alpha l + 4\alpha^2 l^2\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\Delta f}\right)^2}$$

In the case where s_m is ≈ 1 , the margin of error between the evaluation of the measurements according to 6) and the exact evaluation according to 5) is less than 5%.

The measured values are not influenced by the quality of the short circuit and the method is applicable up to frequencies of several thousand megahertz (megacycles per second). The accuracy depends only on the accuracy of the frequency measurement and the accuracy of adjustment of the resonant frequency.

102.3 Sweep-frequency method (Uniformity of Z_0)

For this method a sweep-frequency oscillator is connected to the cable under test and the voltage reflections are observed.

The measurement shall preferably be carried out on complete manufacturing lengths of cable.

The cable is terminated with a variable impedance of approximately the mean characteristic impedance and this termination is so adjusted that the observed reflections are a minimum. The measurement shall be carried out from both ends of the length of cable under test. Neither one of the reflection coefficients thus measured shall exceed the specified value.

Note. — Although the method given in Clause 2.4 has been included in specification sheets which have already been prepared, Sub-Committee 46 A expressed the view that for future consideration preference be given to sweep-frequency methods.

102.4 Mesure à plusieurs fréquences fixées (Uniformité de Z_e)

L'uniformité de l'impédance sera contrôlée en effectuant des mesures à 20 fréquences différentes choisies dans une bande de 1 000 MHz comprise entre 2 300 et 4 000 MHz.

Cette mesure permet de détecter les variations de Z_e causées par les variations de Z_x le long du câble, qui ont une périodicité de longueur correspondant aux demi-longueurs d'ondes électriques comprises dans la gamme de fréquences donnée.

La moyenne des 20 valeurs de Z_e et la moyenne quadratique des déviations de ces valeurs autour de la valeur moyenne sont alors calculées et ne doivent pas dépasser les valeurs inscrites dans les feuilles particulières.

Les valeurs de Z_e peuvent être déterminées en utilisant la méthode du cercle d'admittance dans laquelle une des extrémités de l'échantillon est terminée par une longueur de ligne coaxiale, dans laquelle un plongeur de court-circuit peut être déplacé pour réaliser une réactance de terminaison variable entre de très larges limites positives ou négatives. Quand la réactance de terminaison varie entre ces limites, l'admittance d'entrée de l'échantillon de câble décrit un cercle dans le plan complexe d'admittance. D'après le lieu des intersections de ce cercle avec l'axe des admittances réelles, on peut calculer l'impédance caractéristique effective Z_e . Cette valeur de Z_e est l'impédance du quadripôle qui serait équivalent à l'échantillon de câble pour la fréquence considérée.

Le temps d'essais peut être réduit sans perte excessive de précision en utilisant la méthode des « Deux Points » plutôt qu'en traçant le cercle d'admittance entier.

Note. — Quand on utilise cette méthode, les circuits établis avec quelques types d'équipement commerciaux courants peuvent présenter une inexactitude de l'ordre de $\pm 4\%$. De tels équipements ne conviennent pas pour cet essai.

103. ESSAI DE DÉCHARGE (CORONA)

103.1 Autre méthode que celle spécifiée à l'article 2.5

103.1.1 Les échantillons d'essai d'une longueur approximative de 1 mètre, non compris les extrémités dépouillées, devront être terminés de telle sorte qu'aucune décharge ne puisse se produire aux extrémités lorsque la tension alternative d'essai est appliquée.

103.1.2 Les échantillons devront être essayés dans un circuit sans décharge, comprenant un circuit accordé, détecteur de décharges, combiné avec un amplificateur à bande passante et un oscillographe cathodique capable de résoudre 25 décharges par quadrant d'une tension à 50 Hz. La sensibilité doit être telle qu'une simple décharge d'un picocoulomb observée aux bornes de la pièce en essai puisse être détectée (voir paragraphe 3.1.5).

103.1.3 La tension d'essai devra avoir une fréquence comprise entre 40 et 60 Hz et une forme d'ondes à peu près sinusoïdale. Avant de connecter les échantillons, on s'assurera de l'absence de décharge dans le circuit jusqu'à la tension maximale d'essai, en utilisant pour cela une capacité sans corona, ayant approximativement la même capacité que l'échantillon.

103.1.4 La tension d'essai sera progressivement augmentée jusqu'à ce que des décharges récurrentes soient observées. Dans le but de déterminer la « tension d'extinction » on abaissera graduellement la tension jusqu'à ce qu'aucune décharge n'apparaisse plus et la valeur de cette tension sera enregistrée. Cet essai devra être effectué sur trois échantillons; la tension d'extinction la moins élevée ne devra pas être inférieure à la valeur spécifiée pour le câble correspondant.

102.4 Measurement at several fixed frequencies (Uniformity of Z_e)

The uniformity of impedance shall be tested by measurements made at 20 frequencies chosen from a 1 000 MHz (Mc/s) frequency band, within the frequency range 2 300 to 4 000 MHz (Mc/s).

This measurement detects variation in Z_e due to variations of Z_x which have length periodicities corresponding to electrical half wavelengths in the given frequency range.

The mean of the 20 values of Z_e and the root mean square deviations of these values about the mean are calculated. The individual specification sheet specifies the limits on these quantities.

The values of Z_e may be determined by using the admittance circle method in which one end of the sample is terminated in a length of coaxial line, in which a shorting plunger can be moved so as to provide a terminating reactance variable between very large negative and very large positive reactances. As the terminating reactance varies between these limits, the input admittance of the cable sample describes a circle in the complex admittance plane. From the intercepts of this circle and the real admittance axis, the effective characteristic impedance Z_e can be calculated. This value of Z_e is the image impedance of the quadripole which would be equivalent to the cable sample at the frequency of test.

The testing time can be reduced without undue loss of accuracy by using the "Two Point" method rather than plotting out the full admittance circle.

Note. — When using this method, circuits built up with some types of commercially available test equipment may have an inherent inaccuracy of the order of $\pm 4\%$. Such equipment is not adequate for this test.

3. DISCHARGE TEST (CORONA TEST)

103.1 Alternative method to that specified in Clause 2.5

- 103.1.1 Test pieces of approximately 1 metre length, exclusive of bared ends, shall be terminated in such a manner that discharges do not occur at the ends when the alternating test voltage is applied.
- 103.1.2 Samples shall be tested in a discharge-free circuit, incorporating a tuned circuit discharge detector, with a bandpass amplifier and cathode-ray oscilloscope capable of resolving 25 discharges per quadrant of 50 Hz (c/s) voltage. The sensitivity shall be such that single discharges of one picocoulomb, observed at the terminals of the test piece, can be detected (see Sub-clause 3.1.5).
- 103.1.3 The test voltage shall have a frequency of between 40 and 60 Hz (c/s) and the waveform shall be approximately sinusoidal. Before connecting the specimens, the absence of discharges in the circuit, up to the maximum test voltage, shall be confirmed, using a discharge-free capacitor of approximately the same capacitance as the specimen.
- 103.1.4 The test voltage shall be increased gradually until recurrent discharges are observed. In order to determine the "extinction voltage" the test voltage shall be decreased gradually until no discharge occurs and the value of that voltage shall be noted. This shall be measured on three test pieces. The lowest extinction voltage shall not be less than the value specified for the cable.

- 103.1.5 La sensibilité du détecteur devra être vérifiée durant les essais par l'injection dans l'échantillon d'une impulsion de tension de grandeur connue et ayant une forme d'onde approximativement semblable à un bond vertical, c'est-à-dire que le temps de montée devra être court, comparé à la période de la plus haute fréquence dans la bande passante de l'équipement de mesure et que le temps de descente devra être long comparé au temps de réponse de l'équipement. L'impulsion de l'étalonnage devra être injectée dans l'échantillon comme il est indiqué par la figure 1.

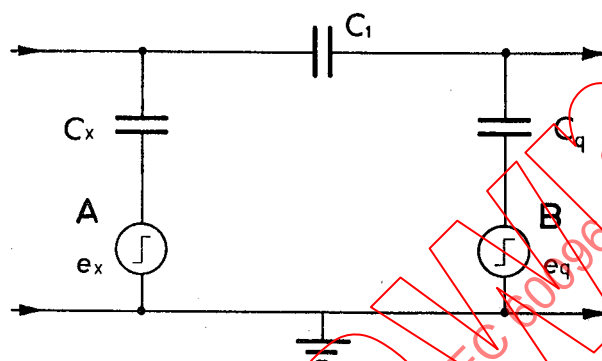


FIG. 1. — Principe de l'étalonnage.

A et B sont les points du circuit auxquels on peut indifféremment injecter la tension d'étalonnage.

103.2 Etalonnage de l'équipement d'essai

- 103.2.1 Le condensateur de décharges peut être représenté par le circuit équivalent montré dans les figures 2a et 2b. Quand une décharge apparaît en C_c (figure 2a), une brusque variation de tension $\delta V_x = q/C_x$ apparaît aux bornes de C_x . Ceci peut être représenté comme dans la figure 2b par la capacité C_x en série avec un générateur d'impulsions de basse impédance. L'étalonnage peut alors être effectué comme dans la figure 2c en injectant une tension d'impulsion unidirectionnelle (δV_x) aux bornes de C_o en série avec C_x ($C_o \gg C_x$). L'amplitude q des décharges dans l'échantillon C_x peut alors être calculée, si δV est ajusté pour donner la même indication d'amplitude sur le détecteur que les décharges dans l'échantillon (en essai).

Si l'impulsion d'étalonnage δV_x est injectée comme dans la figure 3, l'amplitude de la décharge q dans la capacité C_x est donnée par:

$$q = \delta V_x \cdot C_q \left(1 + \frac{C_x}{C_4} \right)$$

- où q = est l'amplitude de la décharge en picocoulombs
 δV_x = est l'impulsion d'étalonnage
 C_x = est la capacité de l'échantillon en picofarads
 C_q = est la valeur du condensateur de couplage en picofarads
 C_4 = est la valeur de condensateur de blocage en picofarads

- 103.1.5 The sensitivity of the detector shall be confirmed during the test by injecting into the specimen a voltage pulse of known magnitude, having a waveform approximating to a vertical step; i.e. the rise-time short compared with the period of the highest frequency in the acceptance band of the equipment, and the decay time long compared with the response time of the equipment. The calibration pulse is to be injected into the specimen as shown in Figure 1.

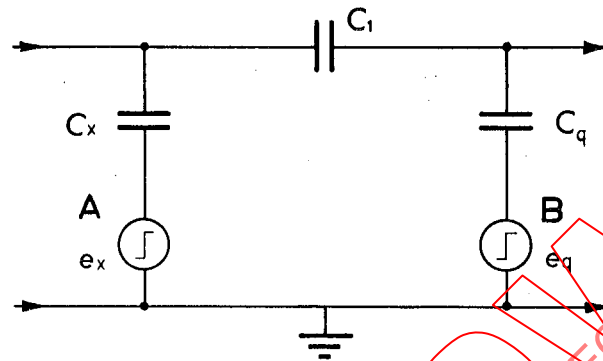


FIG. 1. — Principles of calibration.

A and B are alternative positions for injecting the calibrating voltage.

103.2 Calibration of test equipment

- 103.2.1 The discharging capacitor can be represented by the equivalent circuits shown in Figures 2a and 2b. When a discharge occurs in C_o (Figure 2a) a sudden change of voltage, $\delta V_x = q/C_x$ occurs across C_x . This may be represented as in Figure 2b by capacitor C_x in series with a low impedance pulse generator. Calibration may thus be effected as in Figure 2c by injecting a unidirectional voltage pulse (δV_x) across C_o in series with C_x ($C_o \gg C_x$).

The magnitude q of discharges in the specimen C_x can then be calculated if δV_x is adjusted to give the same amplitude indication on the detector as discharges from the specimen.

If the calibrating pulse δV_x is injected as in Figure 3, the discharge magnitude q in capacitor C_x is given by:

$$q = \delta V_x \cdot C_q \left(1 + \frac{C_x}{C_4} \right)$$

where: q = the magnitude of the discharge in picocoulombs

δV_x = calibrating pulse in volts

C_x = capacitance of the specimen in picofarads

C_q = the value of the coupling capacitor in picofarads

C_4 = the value of the blocking capacitor in picofarads

103.2.2 Un schéma convenable pour un générateur d'impulsions avec atténuateur est donné par la figure 4. Pour la plupart des utilisations, un simple atténuateur précis à ± 10 dB près sera suffisant. Une tolérance de 5 % sur les composants de l'atténuateur est alors acceptable.

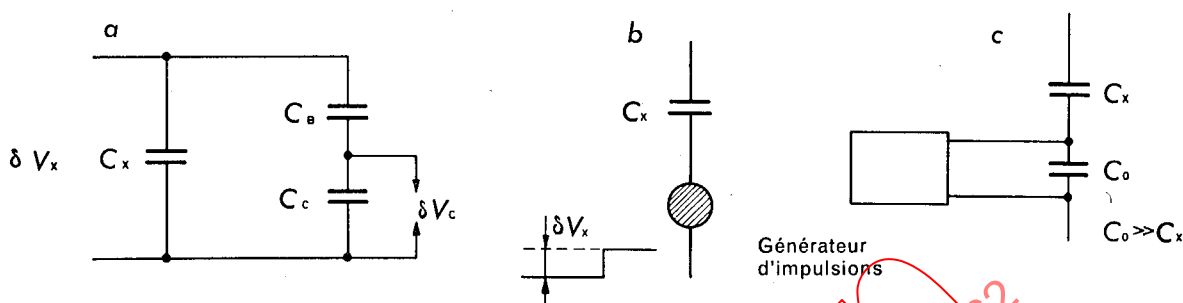


FIG. 2. — Circuits équivalents pour étalonnage des décharges.

$$q = \delta V_x \cdot C_x = \frac{C_x \cdot C_B}{C_x + C_B} \cdot \delta V_c$$

dans laquelle q est l'amplitude de la décharge en picocoulombs
 C_x est la capacité de l'échantillon en picofarads
 δV_x est la variation de la tension aux bornes de C_x en volts
 δV_c est la variation de la tension aux bornes de C_c en volts

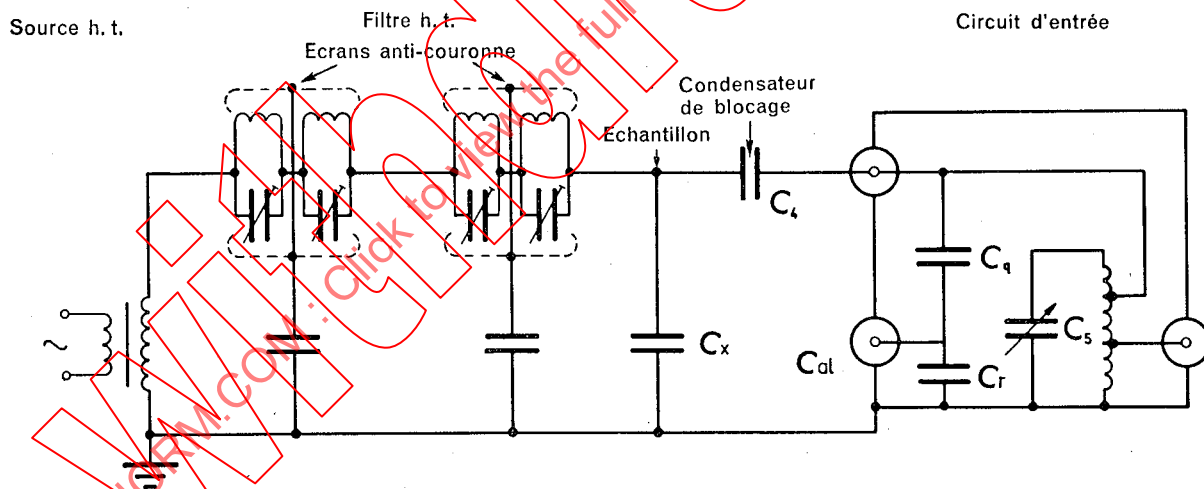


FIG. 3. — Circuit d'essai.

103.3 Préparation des extrémités de câble

Une méthode convenable est donnée ci-dessous à titre d'exemple:

La longueur de câble appropriée est préparée pour les essais et montée comme l'indique la figure 5 (les dimensions indiquées ne sont pas critiques). L'extension du conducteur extérieur par du graphite permet l'immersion des extrémités dans un liquide diélectrique sans que celui-ci en s'insère entre le conducteur intérieur et le diélectrique.

103.2.2 A suitable circuit for a pulse generator with attenuator is shown in Figure 4. For many purposes a simpler attenuator, accurate to ± 10 dB will be sufficient. A 5% tolerance on components in the attenuator will then be permissible.

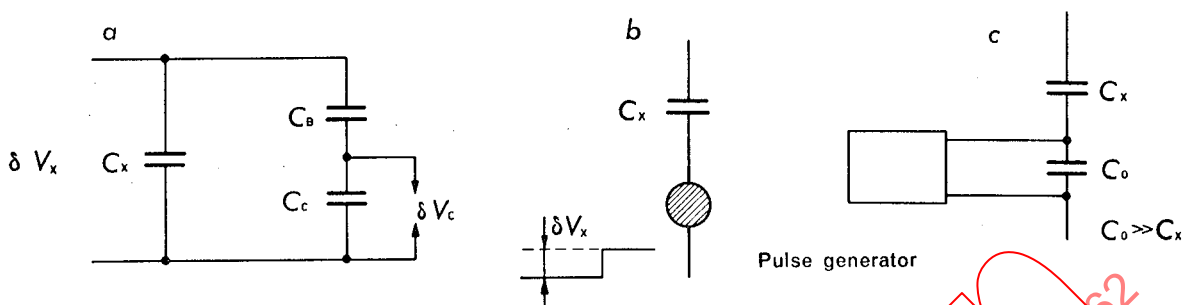


FIG. 2. — Equivalent circuits for discharge calibration.

$$q = \delta V_x \cdot C_x = \frac{C_x \cdot C_B}{C_x + C_B} \cdot \delta V_c$$

where: q is the magnitude of the discharge in picocoulombs

C_x is the capacitance of the specimen in picofarads

δV_x is the change in voltage across C_x in volts

δV_c is the change in voltage across C_c in volts

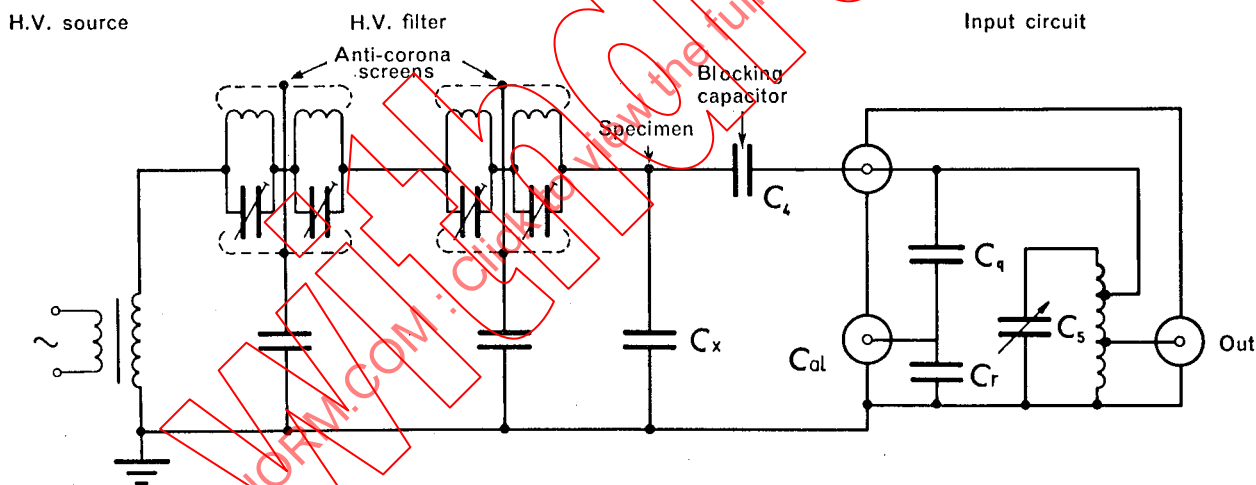


FIG. 3. — Test circuit.

103.3 Preparation of cable ends

A suitable method is given below as an example:

The appropriate length of cable is prepared for test and mounted as shown in Figure 5 (dimensions not given are not critical). The graphite extension of the outer conductor permits immersion of the end in a dielectric liquid without it being drawn up between outer conductor and dielectric.

Cet enduit est formé par peinture ou vaporisation d'une suspension de graphite colloïdal dans l'acétone. Les suspensions commerciales contenant 18 % de carbone solide devront être diluées en mélangeant une partie de la suspension à deux parties, en volume, d'une composition liquide, acétone 50 %, diacétone-alcool 40 % et lactate d'éthyl 10 %, en volume. La résistance de la couche de graphite entre la tresse du câble et l'anneau de fil terminal, avant qu'ils ne soient raccordés entre eux, doit être inférieure à 200 ohms. Il est avantageux d'utiliser des anneaux de garde dans la méthode du pont oscillographique avec des bras écrantés séparément, parce que les décharges dans le câble et les décharges aux anneaux de garde, c'est-à-dire effectivement aux extrémités du câble, peuvent être séparées. Avec d'autres dispositifs expérimentaux, les anneaux de garde doivent être connectés au conducteur extérieur, à la terre ou à l'extrémité basse tension de l'alimentation, ou encore ils peuvent être omis; l'assurance que les premières décharges observées sont intérieures au câble peut alors être obtenue en substituant un meilleur câble du même type et en vérifiant qu'il ne donne pas de décharge à la même tension.

Un diélectrique convenable dans lequel le polyéthylène et ses plastifiants sont inertes peut être utilisé.

104. AFFAIBLISSEMENT

104.1 Mesures combinées avec celle de l'impédance caractéristique

104.1.1 Affaiblissement à 200 MHz

La méthode indiquée ci-dessous est exécutée en combinaison avec la mesure de l'impédance caractéristique telle qu'elle est décrite dans le paragraphe 101.1.

Les appareils utilisés pour mesurer Z_0 par la méthode de variation de fréquence peuvent aussi être utilisés pour la détermination de l'affaiblissement des câbles.

Si les fréquences auxquelles le système est désaccordé de la résonance à la demi-puissance sont: f_1 et f_2 , alors:

$$\alpha = 8.686 \frac{\pi}{v} (f_2 - f_1) \text{ dB}$$

où v est la vitesse de propagation dans le câble en mètres par seconde

f_1 et f_2 sont les fréquences de mesure en hertz

Une méthode par ligne résonante peut être utilisée dans le but de mesurer l'affaiblissement. La largeur de la courbe de résonance est alors déterminée pour chaque longueur de câble par de petits déplacements du piston de la ligne résonante. De cette série de mesures, il est possible de déterminer l'affaiblissement de câble indépendamment des pertes dans la ligne résonante.

Pour ces mesures, le câble doit être ouvert, court-circuité ou terminé par une ligne auxiliaire avec un piston de court-circuit mobile.

104.1.2 Affaiblissement à 3 000 MHz

La dimension du cercle d'admittance tracé comme il est décrit pour la mesure de Z_0 est une mesure de l'affaiblissement du câble. L'affaiblissement pouvant être mesuré par cette méthode doit être compris entre 3 et 10 dB pour la longueur de l'échantillon. Les échantillons de câble ayant un affaiblissement beaucoup plus grand que 10 dB, peuvent être mesurés plus exactement par la méthode de substitution utilisant des atténuateurs variables calibrés et des atténuateurs fixes pour minimiser les effets de désadaptation.

It is formed by painting or spraying with a suspension of colloidal graphite in acetone. Commercial suspensions containing about 18 per cent solid carbon should be diluted by adding one part of the suspension to two parts by volume of a liquid of composition, acetone 50 per cent, diacetone alcohol 40 per cent and ethyl lactate 10 per cent by volume. The resistance of the graphite film between cable braid and the terminating wire ring, before they are connected together, should be less than 200 ohms. There is advantage in using guard rings in the oscillograph bridge method with separate screen arms, in that discharges within the cable and discharges to the guard rings, i.e. effectively to the ends of the outer conductor, may be distinguished. With other experimental arrangements guard rings should be connected to the outer conductor, to earth or to the low voltage end of the supply, or they may be omitted; assurance that the first discharges observed are within the cable may then be obtained by substituting a better cable of the same type and verifying that it does not give discharges at the same voltage.

Any convenient dielectric liquid to which polyethylene and its plasticizers are inert may be used.

104. ATTENUATION

104.1 Combined with measurement of characteristic impedance

104.1.1 Attenuation at 200 MHz (Mc/s)

The undermentioned method is carried out combined with the measurement of characteristic impedance as described in Clause 101.1.

The apparatus used for measuring Z_0 by the frequency variation method can be used for the determination of cable attenuation.

If the frequencies at which the system is detuned from resonance to half power are f_1 and f_2 , then:

$$\alpha = 8.686 \frac{\pi}{v} (f_2 - f_1) \text{ dB}$$

where: v is the wave velocity in the cable in metres per second

f_1 and f_2 are measuring frequencies in hertz (cycles per second)

A resonant line method can be used in order to measure attenuation. The width of the resonant response curve is then determined for each cable length by making small movements of the plunger of the resonant line. From the series of measurements it is possible to determine the cable attenuation independently of the loss of the resonant line.

For these measurements the cable sample must be open, short-circuited or terminated in an auxiliary line with a movable short-circuiting plunger.

104.1.2 Attenuation at 3 000 MHz (Mc/s)

The size of the admittance circle plotted, as described for the measurement of Z_0 is a measure of the cable attenuation. The attenuation to be measured by this method should be between 3 and 10 dB in the sample length. Cable samples having attenuations much in excess of 10 dB can be best measured by substitution methods using calibrated variable attenuators and attenuating pads to minimise mismatch effects.

104.2 Mesures séparées

104.2.1 Méthode par substitution

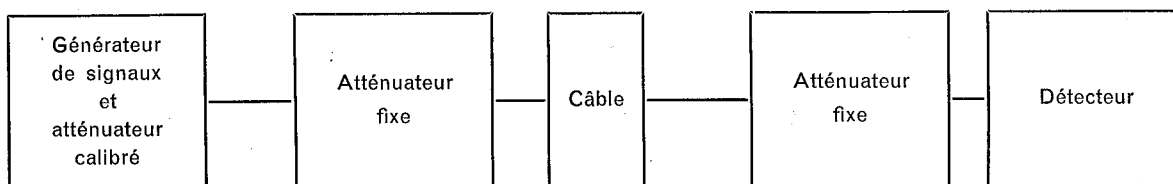


FIG. 4.

Dans le circuit indiqué ci-dessus une longueur appropriée de câble ayant un affaiblissement d'au moins 10 dB est insérée entre les atténuateurs fixes.

Pour les câbles ayant un affaiblissement de moins de 10 dB, par suite de leur longueur, la précision requise est difficile à obtenir.

Les deux atténuateurs fixes doivent avoir un affaiblissement assez fort pour minimiser les erreurs dues aux désadaptations du générateur de signaux et du détecteur. Pour la majorité des mesures, il est recommandé que l'affaiblissement de chacun des atténuateurs fixes soit de l'ordre de 10 dB.

Le détecteur étant accordé, le générateur de signaux et son atténuateur calibré sont alors ajustés pour produire un signal détecté d'amplitude suffisante. La lecture du détecteur est alors notée et la position des atténuateurs variables est enregistrée. Le câble en essai est alors retiré et les atténuateurs fixes connectés directement.

Avec le détecteur accordé, l'atténuateur calibré est réajusté pour reproduire la lecture originale au détecteur et sa nouvelle position enregistrée.

L'affaiblissement d'insertion en décibels de l'échantillon est alors égal à la différence entre les deux lectures de l'atténuateur calibré.

L'affaiblissement d'insertion comprend l'affaiblissement du câble augmenté de l'affaiblissement de réflexion et de l'affaiblissement d'interaction.

Pour le circuit indiqué ci-devant, l'affaiblissement de réflexion peut être calculé par la formule:

$$20 \log_{10} \left(\frac{1}{1 - |\Gamma|^2} \right) \approx 8.686 |\Gamma|^2 \text{ dB}$$

dans lequel: $|\Gamma| = \left| \frac{Z - Z_o}{Z + Z_o} \right|$ = grandeur absolue du coefficient de réflexion de tension

Z_o = l'impédance caractéristique du câble en essai

Z = l'impédance caractéristique des atténuateurs fixes.

Le rapport $\frac{Z}{Z_o}$ doit être compris entre 0,5 et 2.

104.2 Separate measurement

104.2.1 Substitution method

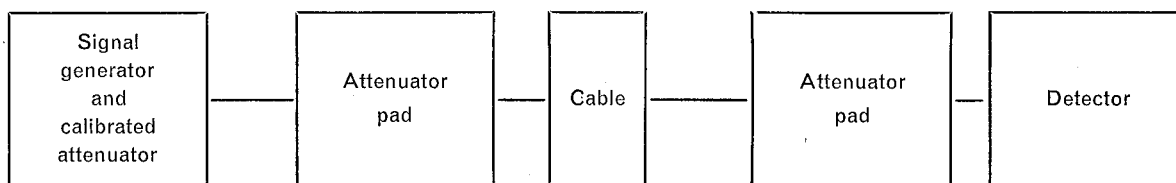


FIG. 4.

In the circuit shown above, a suitable length of cable having an attenuation at least of 10 dB is inserted between the attenuator pads. For cables of which the attenuation is less than 10 dB, the required accuracy is difficult to obtain.

Both pads shall be high enough in attenuation value to minimize the error caused by any mismatch of the signal generator and detector. For the majority of measurements it is recommended that the attenuation of the pads each be of the order of 10 dB.

The detector is tuned. The signal generator and its calibrated attenuator are then adjusted to produce a convenient detected signal amplitude. The detector reading is noted and the attenuator setting recorded. The cable under test is now withdrawn and the attenuator pads connected directly.

With the detector tuned, the calibrated attenuator is readjusted to reproduce the original reading at the detector and the attenuator setting is again recorded.

The insertion attenuation of the sample in decibels equals the difference between the two attenuation settings of the calibrated attenuator.

The insertion attenuation consists of the cable attenuation, the reflection attenuation and the interaction attenuation.

The reflection attenuation for the circuit shown above can be calculated by the formula:

$$20 \log_{10} \left(\frac{1}{1 - |\Gamma|^2} \right) \approx 8.686 |\Gamma|^2 \text{ dB}$$

where: $|\Gamma| = \left| \frac{Z - Z_o}{Z + Z_o} \right|$ = the absolute magnitude of the voltage reflection coefficient

Z_o is the characteristic impedance of the cable under test

Z is the characteristic impedance of the attenuator pads.

The ratio of $\frac{Z}{Z_o}$ shall lie between 0.5 and 2.

L'erreur dans l'affaiblissement apparent est de 0,1 dB et l'affaiblissement désiré du câble peut être maintenant obtenu en soustrayant l'affaiblissement de réflexion calculé de l'affaiblissement d'insertion mesuré. L'erreur totale n'excédant pas 0,5 dB ou 5 % de l'affaiblissement du câble.

Un dispositif à ligne accordée peut être utilisé.

104.2.2 Calcul à partir du taux d'ondes stationnaires

Cette méthode ne convient que pour des échantillons du câble dont l'affaiblissement est compris entre 3 et 10 dB.

Le taux d'ondes stationnaires de la tension d'entrée peut être mesuré sur une longueur convenable d'un câble court-circuité à son extrémité éloignée, l'affaiblissement peut alors être obtenu comme suit:

$$\alpha = \frac{10}{l} \log_{10} \frac{\text{V.S.W.R.} + 1}{\text{V.S.W.R.} - 1}$$

où α = atténuation en décibels par mètre

l = longueur en mètres du câble en essai.

104.2.3 Autre méthode pour calculer l'affaiblissement à partir de la mesure d'admittance

La longueur de câble à essayer est connectée par une extrémité à une ligne fendue et par l'autre extrémité à une ligne en court-circuit de longueur variable. Le taux d'ondes stationnaires et le lieu du minimum de tension, par rapport à l'extrémité de la ligne fendue sont mesurés chaque fois dans la ligne fendue quand on déplace le piston de la ligne en court-circuit de longueur variable par bonds de $\frac{\lambda}{16}$.

La construction du diagramme de Smith, nécessaire pour la détermination graphique de la dispersion des éléments de matrice S_{11} , S_{12} , S_{22} est effectuée suivant la méthode de Deschamps.

La valeur des pertes d'insertion peut alors être déterminée par l'expression

$$\alpha = 20 \log_{10} |S_{12}| \text{ dB}$$

Dans le but d'obtenir la valeur réelle d'affaiblissement, il est nécessaire d'introduire une correction comprenant au moins la réflexion à l'extrémité du câble la plus près de la ligne fendue.

Dans ce cas on a approximativement:

$$\alpha = 20 \log_{10} |S_{12}| - 10 \log_{10} [1 - |S_{11}|^2] \text{ dB} \quad (1)$$

La seconde approximation peut être obtenue au moyen de l'introduction d'une seconde correction comprenant la réflexion à l'extrémité éloignée du câble. La grandeur du coefficient de réflexion $|\Gamma|$ pour la seconde extrémité du câble pouvant être observée à la première extrémité a pour valeur:

$$|\Gamma_1| = e^{-0,23 \alpha} |\Gamma| \quad (2)$$

où α est l'affaiblissement en décibels calculé d'après la formule (1).

The error in the apparent attenuation is of the order of 0.1 dB and the desired cable attenuation is now found by subtracting the calculated reflection attenuation from the measured insertion attenuation giving an overall error which shall not exceed 0.5 dB or 5% of the cable attenuation.

A tuning stub may be used in the circuit.

104.2.2 *Calculated from voltage standing wave ratio*

This method is only suitable for cable samples with an attenuation between 3 and 10 dB.

The input voltage standing-wave ratio (v.s.w.r.) shall be measured on a suitable length of the cable, short-circuited at its far end, the attenuation computed as follows:

$$\alpha = \frac{10}{l} \log_{10} \frac{\text{V.S.W.R.} + 1}{\text{V.S.W.R.} - 1}$$

where: α = attenuation in decibels per metre

l = length of cable under test in metres.

104.2.3 *Alternative method for calculating attenuation from admittance measurements*

The length of cable to be tested is connected by one end to a slotted line and by the other end to a short-circuited line of variable length. The V.S.W.R. and the locations of voltage minima relative to the end of the slotted line are measured every time in the slotted line on moving the short-circuiting plunger in the short-circuited line of variable length by steps of $\frac{\lambda}{16}$.

Construction on the Smith diagram necessary for the graphic determination of the scattering matrix elements S_{11} , S_{12} , S_{22} are produced according to the Deschamps methods.

The value of insertion loss will be determined by the expression

$$\alpha = 20 \log_{10} |S_{12}| \text{ dB}$$

In order to obtain the attenuation value it is necessary to introduce a correction including at least the reflection from the end of the cable nearest to the slotted line.

In this case, approximately,

$$\alpha = 20 \log_{10} |S_{12}| - 10 \log_{10} [1 - |S_{11}|^2] \text{ dB} \quad (1)$$

The second approximation can be obtained by means of introducing the second correction including the reflection from the second end of the cable. The reflection coefficient magnitude $|\Gamma|$ from the second end of the cable will be observed at the first end, as value:

$$|\Gamma_1| = e^{-0.23 \alpha} |\Gamma| \quad (2)$$

where α is the attenuation in decibels calculated according to the formula (1).

Habituellement on considère que $|\Gamma| = |S_{11}|$ ainsi la valeur réelle de l'affaiblissement sera comprise entre les deux valeurs:

$$\alpha_{\min} = 20 \log_{10} |S_{12}| - 10 \log_{10} [1 - |S_{11}|^2 (1 - \varepsilon^{-0,23 \alpha})^2] \text{ dB} \quad (3)$$

$$\alpha_{\max} = 20 \log_{10} |S_{12}| - 10 \log_{10} [1 - |S_{11}|^2 (1 + \varepsilon^{-0,23 \alpha})^2] \text{ dB} \quad (4)$$

Les formules (3) et (4) permettent d'estimer l'erreur introduite par la réflexion à la seconde extrémité du câble et de choisir une longueur de câble telle que cette erreur reste petite.

La précision optimale peut être obtenue lorsque l'affaiblissement déterminé est de l'ordre de 6 dB.

La méthode donnée élimine l'influence de la désadaptation de l'impédance caractéristique du câble, de la ligne fendue et aussi la désadaptation des connecteurs.

105. EFFICACITÉ D'ÉCRAN

105.1 Introduction

L'efficacité d'écran d'un câble pour fréquences radioélectriques est spécifiée en termes d'impédance de transfert de surface par unité de longueur. L'impédance de transfert de surface est définie pour une longueur de câble élémentaire comme le rapport du gradient de potentiel le long de l'écran dans le circuit perturbé par le courant traversant le circuit perturbateur. Ceci peut représenter de l'intérêt jusqu'aux fréquences de l'ordre de 10 000 MHz.

En général, il n'y a pas de problème lorsqu'on utilise des écrans cylindriques homogènes parce que l'effet d'écran peut alors être aisément calculé; mais lorsqu'une tresse ou des rubans sont employés, il devient nécessaire de mesurer l'efficacité d'écran. Dans l'état actuel de nos connaissances, les extrapolations des mesures de l'impédance de transfert de surface des écrans non homogènes aux fréquences autres que celles où les mesures ont été faites sont de valeur douteuse, de telle sorte que, virtuellement, des mesures peuvent être demandées à toute fréquence de la gamme de travail du câble.

105.2 Appareillage de mesure

Les appareils sont de la forme « triple coaxial ». Une courte longueur de l'écran cylindrique en cours d'investigation forme à la fois le conducteur intérieur d'un système coaxial excité en même temps que le conducteur extérieur d'une autre ligne coaxiale. Le signal dans le système coaxial intérieur est déterminé par l'impédance de transfert de surface de l'écran.

105.3 Procédé d'essai

Le câble avec l'écran à mesurer est terminé à une extrémité par une résistance. La valeur de celle-ci est numériquement égale à l'impédance caractéristique du câble. La résistance de terminaison est écrantée par un manchon métallique dont la tranche, à son extrémité ouverte, est soudée à l'écran. La résistance terminale et le câble sont coaxialement montés à l'intérieur d'un tube métallique. Ce tube est terminé du côté opposé à la résistance par un disque de court-circuit qui est soudé à l'écran (voir figure 7, page 62).

La longueur de la partie du câble dans le tube métallisé ne doit pas excéder $0,10$ à $0,35\lambda_{\min}$ suivant l'équipement de mesure utilisé ($\lambda_{\min}$ étant la longueur d'onde apparente sur le câble à la fréquence maximale de mesure). La longueur de câble extérieure est sans conséquence.

Usually one considers that $|\Gamma| = |S_{11}|$; hence the real value of the cable attenuation will be between two values:

$$\alpha_{\min} = 20 \log_{10} |S_{12}| - 10 \log_{10} [1 - |S_{11}|^2 (1 - \epsilon^{-0.23 \alpha})^2] \text{ dB} \quad (3)$$

$$\alpha_{\max} = 20 \log_{10} |S_{12}| - 10 \log_{10} [1 - |S_{11}|^2 (1 + \epsilon^{-0.23 \alpha})^2] \text{ dB} \quad (4)$$

The formulae (3) and (4) permit one to estimate the error given by the reflection from the second end of the cable and to choose the cable length so that this error will be small enough.

The optimum accuracy will be achieved when the attenuation determined is of the order of 6 dB.

The method given eliminates the influence of the mismatches between the cable, the slotted line and the connectors.

105. SCREENING EFFICIENCY

105.1 Introduction

The screening efficiency of a radio-frequency cable is specified in terms of its surface transfer impedance per unit length. Surface transfer impedance is defined in an elementary length of cable as the potential gradient along the screen in the disturbed circuit to the current flowing in the interfering circuit. This may be of interest at any frequency up to 10 000 MHz (Mc/s). In general, there is no problem where homogeneous cylindrical shields are used since the screening effect in such cases can be readily calculated, but where a braided or taped construction is employed, it becomes necessary to measure the screening efficiency. In the present state of knowledge, extrapolation of measurements of the surface transfer impedance of non-homogeneous screens to frequencies other than those at which measurements have been made, is of doubtful validity, so that, potentially, measurements may be required at any frequency within the working range of the cable.

105.2 Test apparatus

The apparatus is of the "triple coaxial" form. A short length of the cylindrical screen under investigation forms both the inner conductor of an energized coaxial system and at the same time the outer conductor of another coaxial line. The signal in the inner coaxial system is determined by the "surface transfer impedance" of the screen.

105.3 Test procedure

The cable with the screen to be measured is terminated at one end by a resistance the value of which is numerically equal to the characteristic impedance of the cable. The terminal resistance is shielded by a metal sleeve whose edge at the open end is soldered to the screen. Terminal resistance and cable are coaxially mounted inside a metal tube. This tube is terminated at the side opposite the resistance by a short-circuiting disk, which is soldered to the screen (see Figure 7).

The length of the cable piece in the metal tube is not to exceed 0.1 to $0.35\lambda_{\min}$ according to the measuring equipment used ($\lambda_{\min}$ is the wavelength occurring in the cable at the highest measuring frequency). The length of the projecting cable is of no consequence.

Le système coaxial extérieur formé par l'écran en essai et le tube métallique est alimenté par un générateur, soit par l'intermédiaire d'une résistance d'interconnexion (méthode 1) soit par une connexion directe (méthode 2).

Méthode 1 — Alimentation à travers une résistance

Le générateur alimente le système extérieur à travers une résistance pure (R) qui, de préférence, doit être égale à 1,4 fois la valeur de l'impédance caractéristique du système extérieur. La tension d'entrée, avant la résistance, est mesurée au moyen d'un voltmètre approprié. La tension de sortie du système intérieur, qui est formé par le câble proprement dit, est mesurée à l'aide d'un voltmètre à haute impédance ou d'un voltmètre adapté.

L'impédance de transfert de surface peut alors être calculée à partir de l'équation:

$$|Z_T| = \frac{R}{l} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot F'$$

dans laquelle: Z_T = impédance de transfert de surface, en ohms par mètre

R = une résistance pure connue, en ohms

l = la longueur de l'écran sous essai, en mètres (voir figure 7)

U_1 = la tension d'entrée, en volts, du système extérieur avant la résistance R

U_2 = la tension de sortie, en volts, du système intérieur, mesurée à l'extrémité de l'écran

F' = un facteur tenant compte de la réponse en fréquence et qui peut souvent pratiquement être pris égal à l'unité. La valeur exacte peut être calculée d'après la relation

$$F' = \frac{(1 - n^2) \cdot x \cdot \sqrt{\cos^2 x + m^2 \sin^2 x}}{\sqrt{n^2 (\cos x - \cos nx)^2 + (\sin x - n \sin nx)^2}}$$

dans laquelle: $m = Z_1/R$ = rapport de l'impédance caractéristique du système extérieur à la résistance R

Z_1 = l'impédance caractéristique, en ohms, du système extérieur

$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

λ_1 = longueur d'onde électrique du circuit extérieur

λ_2 = longueur d'onde électrique du circuit intérieur

$$x = \frac{2\pi l}{\lambda_1}$$

Ce facteur est applicable si U_2 est mesuré par un appareil de mesure à résistance élevée. Si un voltmètre dont l'impédance d'entrée est égale à l'impédance caractéristique du câble est utilisé, F' est à multiplier par 2.

Méthode 2 — Alimentation directe

Le transmetteur alimente directement le système extérieur. La tension d'entrée du système est mesurée au début de l'écran. La tension de sortie du système intérieur est mesurée comme précédemment.