

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60096-1**

Quatrième édition  
Fourth edition  
1986-01

---

---

**Câbles pour fréquences radioélectriques**

**Première partie:  
Prescriptions générales et méthodes de mesure**

**Radio-frequency cables**

**Part 1:  
General requirements and measuring methods**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60096-1: 1986

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement  
(Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates  
(On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60096-1**

Quatrième édition  
Fourth edition  
1986-01

---

---

**Câbles pour fréquences radioélectriques**

**Première partie:  
Prescriptions générales et méthodes de mesure**

**Radio-frequency cables**

**Part 1:  
General requirements and measuring methods**

© IEC 1986 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**X**

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

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Domaine d'application . . . . .	6
2. Objet . . . . .	6
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
3. Explications et définitions . . . . .	6
4. Définitions concernant la procédure des essais . . . . .	10
5. Construction des câbles . . . . .	12
6. Conditions atmosphériques normales d'essai . . . . .	20
SECTION DEUX — ESSAIS ÉLECTRIQUES	
7. Résistivité du (ou des) conducteur(s) intérieur(s) . . . . .	20
8. Rigidité diélectrique de l'âme . . . . .	20
9. Résistance d'isolement . . . . .	22
10. Rigidité diélectrique de la gaine . . . . .	22
11. Essai de décharge (essai de couronne) . . . . .	24
12. Capacité et déséquilibre de capacité . . . . .	26
13. Vitesse de propagation relative . . . . .	26
14. Impédance caractéristique . . . . .	26
15. Uniformité de l'impédance . . . . .	28
16. Exposant d'affaiblissement . . . . .	28
17. Déséquilibre de transmission . . . . .	28
18. Efficacité d'écran . . . . .	28
19. Valeurs de pointe du coefficient de la tension réfléchie de câbles pour fréquences radio- électriques auxquels s'appliquent les prescriptions d'uniformité de l'impédance . . . . .	28
SECTION TROIS — ESSAIS CHIMIQUES	
20. Résistance aux fluides . . . . .	30
SECTION QUATRE — ESSAIS CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE	
21. Stabilité en capacité . . . . .	30
22. Stabilité en affaiblissement . . . . .	32
23. Essais de stabilité thermique . . . . .	32
24. Essai de fluage . . . . .	36
25. Stabilité dimensionnelle . . . . .	36
SECTION CINQ — MARQUAGE	
26. Couleur de la gaine . . . . .	38
27. Indication de type . . . . .	38
28. Numérotation de type . . . . .	40
ANNEXE A — Méthodes de mesure additionnelles . . . . .	42

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Scope . . . . .	7
2. Object . . . . .	7
SECTION ONE — GENERAL	
3. Explanations and definitions . . . . .	7
4. Definitions relating to testing procedures . . . . .	11
5. Cable construction . . . . .	13
6. Standard atmospheric conditions for testing . . . . .	21
SECTION TWO — ELECTRICAL TESTS	
7. Resistivity of inner conductor(s) . . . . .	21
8. Dielectric strength of core . . . . .	21
9. Insulation resistance . . . . .	23
10. Dielectric strength of sheath . . . . .	23
11. Discharge test (corona test) . . . . .	25
12. Capacitance and capacitance unbalance . . . . .	27
13. Velocity ratio . . . . .	27
14. Characteristic impedance . . . . .	27
15. Uniformity of impedance . . . . .	29
16. Attenuation constant . . . . .	29
17. Transmission unbalance . . . . .	29
18. Screening efficiency . . . . .	29
19. Peak values of voltage reflection coefficient of r.f. cables for which uniformity of impedance requirements apply . . . . .	29
SECTION THREE — CHEMICAL TESTS	
20. Resistance to fluids . . . . .	31
SECTION FOUR — CLIMATIC AND MECHANICAL ROBUSTNESS TESTS	
21. Capacitance stability . . . . .	31
22. Attenuation stability . . . . .	33
23. Thermal stability tests . . . . .	33
24. Flow test . . . . .	37
25. Dimensional stability . . . . .	37
SECTION FIVE — MARKING	
26. Colour of the sheath . . . . .	39
27. Type indication . . . . .	39
28. Type number . . . . .	41
APPENDIX A — Additional measuring methods . . . . .	43

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CÂBLES POUR FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES****Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure**

## PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 4) La CEI 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

Le présente norme a été établie par le Sous-Comité 46A: Câbles pour fréquences radioélectriques, du Comité d'Etudes n° 46 de la CEI: Câbles, fils et guides d'ondes pour équipements de télécommunications.

Cette quatrième édition remplace la troisième édition de la Publication 96-1 de la CEI (1971) ainsi que le premier complément, Publication 96-1A (1976), et la modification n° 1 (1984).

Le texte de cette norme est issu de la troisième édition, du premier complément, de la modification n° 1 et des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
46A(BC)110	46A(BC)112

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus. Cette publication sera complètement révisée dans une prochaine édition.

*Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:*

Publications n°s 28 (1925): Spécification internationale d'un cuivre type recuit.

68 (—): Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique.

68-2-1 (1974): Deuxième partie: Essais — Essais A: Froid.

68-2-2 (1974): Essais B: Chaleur sèche.

68-2-14 (1984): Essai N: Variations de température.

96-2 (1961): Câbles pour fréquences radioélectriques, Deuxième partie: Spécifications particulières de câbles.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIO-FREQUENCY CABLES****Part 1: General requirements and measuring methods**

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.
- 4) The IEC 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

This standard has been prepared by Sub-Committee 46A: R.F. Cables, of IEC Technical Committee No. 46: Cables, Wires and Waveguides for Telecommunication Equipment.

This fourth edition replaces the third edition of IEC Publication 96-1 (1971) as well as the First Supplement, Publication 96-1A (1976), and Amendment No. 1 (1984).

The text of this standard is based on the third edition, the first supplement, Amendment No. 1 and the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
46A(CO)110	46A(CO)112

Further information can be found in the Report on Voting, indicated in the table above. This publication will be completely reviewed prior to the next edition.

*The following IEC publications are quoted in this standard:*

Publication Nos. 28 (1925): International Standard of Resistance for Copper.

68 (—): Basic Environmental Testing Procedures.

68-2-1 (1974): Part 2: Tests — Tests A: Cold.

68-2-2 (1974): Tests B: Dry Heat.

68-2-14 (1984): Test N: Change of Temperature.

96-2 (1961): Radio-frequency Cables, Part 2: Relevant Cable Specifications.



# CÂBLES POUR FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES

## Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure

### 1. Domaine d'application

La présente norme se rapporte 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 radiocommunication 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 thermodurcissable ou une matière minérale.

### 2. Objet

La présente norme a 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 Publication 96-2 de la CEI: Câbles pour fréquences radioélectriques, Deuxième partie: Spécifications particulières de câbles.

## SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

### 3. Explications et définitions

#### 3.1 Explication des termes descriptifs

##### 3.1.1 Câbles à diélectrique massif

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

##### 3.1.2 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) conducteur(s) intérieur(s) au conducteur extérieur (ou à l'écran), sans traverser une couche de diélectrique massif.

##### 3.1.3 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) conducteur(s) intérieur(s) au conducteur extérieur (ou à l'écran) sans passer à travers au moins une couche de diélectrique massif.



## RADIO-FREQUENCY CABLES

### Part 1: General requirements and measuring methods

#### 1. Scope

This standard relates 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-air-spaced types, consisting of a thermoplastic or low-loss polymeric resin, a thermosetting compound, or a mineral material.

#### 2. Object

This standard establishes uniform requirements for judging the electrical, climatic and mechanical properties of radio-frequency cables and describes test methods.

*Note.* — The construction and characteristics for each type of cable are dealt with in IEC Publication 96-2: Radio-frequency Cables, Part 2: Relevant Cable Specifications.

### SECTION ONE — GENERAL

#### 3. Explanations and definitions

##### 3.1 Explanations of descriptive terms

##### 3.1.1 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 screen) is substantially filled by a solid dielectric. The dielectric may be either homogeneous or composite, the latter comprising two or more concentric adhering layers having different properties.

##### 3.1.2 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.

##### 3.1.3 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.

### 3.1.4 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) conducteur(s) intérieur(s). 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.

### 3.1.5 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.

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

### 3.1.6 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.

### 3.1.7 Puissance nominale

La puissance nominale d'un câble pour fréquences radioélectriques à chaque fréquence déterminée est 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

*Notes 1.* — D'autres puissances nominales sont applicables pour des valeurs de la température ambiante différant de 40°C et pour des conditions spéciales. Elles devront être indiquées par le fabricant sur demande de l'acheteur.

*2.* — Pour les matériaux isolants non mentionnés dans ce paragraphe, le maximum de température admissible pour le conducteur intérieur devra être donné dans la spécification particulière.

*3.* — Pour les câbles destinés à travailler à des températures plus élevées, la température maximale d'utilisation devra être indiquée dans la spécification particulière.

## 3.2 Définition des paramètres techniques

### 3.2.1 Angle de tressage

L'angle de tressage est défini par:

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

où:

$D$  = 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

### 3.1.4 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.

### 3.1.5 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.

### 3.1.6 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.

### 3.1.7 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 permitted temperature of the inner conductor shall not be exceeded. The maximum permitted 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:

Insulating material	Maximum temperature of inner conductor
Polyethylene	85 °C
Polytetrafluoroethylene	200 °C

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

2. — For insulating materials not mentioned in this sub-clause, the maximum permitted temperature of the inner conductor should be given in the detail specification.
3. — For cables which are suitable for higher operating temperatures, the maximum operating temperature should be given in the detail specification.

## 3.2 Definitions of engineering parameters

### 3.2.1 Braid angle

The braid angle is defined as:

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

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

### 3.2.2 Facteur de recouvrement

Le facteur de recouvrement  $K_f$  est défini par:

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

Pour une tresse en ruban:  $w$  = largeur du ruban

Pour une tresse en fils:  $w = nd_w$

où:

$D$  = 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 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

*Note.* — Il convient de souligner qu'aussi longtemps que la Publication 96-2 de la CEI ne contiendra aucune prescription pour l'efficacité d'écran, les propriétés de la tresse seront définies uniquement par les prescriptions relatives à l'angle de tressage et au facteur de recouvrement. On notera que les prescriptions relatives à ces paramètres sont basées sur les définitions données au paragraphe 3.2. Il y a lieu de tenir compte du fait que le «facteur de recouvrement» ainsi déterminé diffère quelque peu du «pourcentage total de couverture» tel qu'il est défini dans certaines spécifications nationales. La relation entre ces deux facteurs est donnée par la formule suivante:

$$\text{Pourcentage de couverture} = 100(2K_f - K_f^2)$$

## 4. Définitions concernant la procédure des essais

### 4.1 Type

Un type englobe des produits ayant des caractéristiques de construction analogues, fabriqués suivant les mêmes techniques, et faisant partie de la gamme des caractéristiques habituellement réalisées dans la fabrication considérée.

*Notes 1.* — Il n'est pas tenu compte des dispositifs accessoires de montage, pour autant qu'ils n'aient pas d'influence sensible sur les résultats des essais.

2. — Par caractéristiques, il faut entendre:

- a) les caractéristiques électriques;
- b) les dimensions;
- c) la classe de résistance aux influences climatiques et mécaniques.

3. — Les limites de la gamme des caractéristiques devront faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

### 4.2 Essai de type

L'essai de type d'un produit représente la série complète des essais à effectuer sur un certain nombre d'échantillons identiques représentatifs du type, dans le but de déterminer si un fabricant donné peut être considéré comme étant en mesure de fabriquer des produits répondant aux spécifications.

### 4.3 Approbation de type\*

L'approbation de type est la décision de l'autorité compétente (l'utilisateur lui-même ou son mandataire) par laquelle elle reconnaît qu'un fabricant donné peut être considéré comme étant en mesure de produire en quantité suffisante le type répondant aux spécifications.

\* Toutefois, cette norme couvrant seulement les essais de type, ces définitions ne sont introduites ici qu'à titre d'information.

### 3.2.2 Filling factor

The filling factor  $K_f$  is defined as:

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

For tape braids:  $w$  = width of tape

For wire braids:  $w = nd_w$

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

*Note.* — Attention is drawn to the fact that, as long as no requirement is included in IEC Publication 96-2 for screening efficiency, the properties of the braid are defined solely by the requirements for braid angle and the filling factor. It should be noted that the requirements for these parameters are based on the definitions given in Sub-clause 3.2. It is to be noted that the "filling factor" so defined differs somewhat from the "percentage coverage", which is the braid property defined in some national specifications. These two factors are related in the following way:

$$\text{Percentage coverage} = 100 (2K_f - K_f^2)$$

## 4. Definitions relating to testing procedures

### 4.1 Type

A type comprises products having similar design features manufactured by the same techniques and falling within the manufacturer's usual range of ratings for these products.

*Notes* 1. — Mounting accessories are ignored, provided they have no significant effect on the test results.

2. — Ratings cover the combination of:

- a) electrical ratings;
- b) sizes;
- c) environmental group.

3. — The limits of the range of ratings should be agreed upon between purchaser and manufacturer.

### 4.2 Type test

The type test of a product is the complete series of tests to be carried out on a number of specimens representative of the type, with the object of determining whether a particular manufacturer can be considered to be able to produce products meeting the specifications.

### 4.3 Type approval\*

Type approval is the decision by the proper authority (the user himself or his nominee) that a particular manufacturer can be considered to be able to produce in reasonable quantities the type meeting the specifications.

\* As this standard only covers type tests, these definitions are included solely for information.

#### 4.4 Essais de réception\*

Les essais de réception sont ceux qui sont effectués pour décider de l'acceptation d'un lot sur la base d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

Cet accord couvrira:

- a) les dimensions de l'échantillon;
- b) le choix des essais;
- c) la mesure dans laquelle les échantillons identiques réservés aux essais doivent être conformes aux normes pour les essais choisis dans les spécifications.

*Note.* — Dans le cas où les résultats d'essais ne concorderaient pas entre eux, les méthodes d'essais normalisées par la CEI devraient être employées pour les essais de réception.

#### 4.5 Essais de contrôle en usine\*

Les essais de contrôle en usine sont des essais effectués par le fabricant pour vérifier que ses produits répondent aux spécifications.

### 5. Construction des câbles

#### 5.1 Généralités

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

#### 5.2 Conducteurs intérieurs

##### 5.2.1 Exigences applicables pour tous matériaux

La construction et le matériau du (ou des) conducteur(s) intérieur(s) devront être ceux spécifiés dans la spécification particulière.

Chaque conducteur intérieur doit 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.

Lorsque le (ou les) conducteur(s) intérieur(s) sont constitués par un fil unique, ils ne doivent pas être raccordés dans leur fabrication postérieurement à la dernière opération de tréfilage.

##### 5.2.2 Exigences pour des conducteurs en cuivre

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 doit pas y avoir d'aspérités ou de bavures.

Aucune soudure sur un brin individuel ne doit être à moins de 0,3 m environ 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 doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

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 doivent pas montrer de décoloration substantielle. Si les conducteurs sont étamés, ils doivent être débarrassés de tout flux décapant et matières de nettoyage.

\* Toutefois, cette norme couvrant seulement les essais de type, ces définitions ne sont introduites ici qu'à titre d'information.



#### 4.4 *Acceptance tests\**

Acceptance tests are tests carried out to determine the acceptability of a consignment on the basis of an agreement between purchaser and manufacturer.

The agreement shall cover:

- a) the sample size;
- b) the selection of tests;
- c) the extent to which the test specimens shall conform to the requirements for the selected tests of the specifications.

*Note.* — In cases of divergent test results, the IEC standard test methods should be used for acceptance tests.

#### 4.5 *Factory tests\**

Factory tests are those tests carried out by the manufacturer to verify that his products meet the specifications.

### 5. **Cable construction**

#### 5.1 *General*

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

#### 5.2 *Inner conductor or conductors*

##### 5.2.1 *Requirements applicable to all kinds of material*

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

##### 5.2.2 *Requirements for copper conductors*

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 m of a joint in any other individual strand.

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

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

---

\* As this standard only covers type tests, these definitions are included solely for information.



### 5.2.3 Exigences pour les fils d'acier recouverts de cuivre

Les conducteurs en acier recouverts de cuivre doivent répondre aux conditions données par le tableau suivant:

TABLEAU I

Qualité		Facteur de résistance maximal*	Charge de rupture minimale du conducteur complet	Allongement minimal sur 250 mm (10 in)
N°	Cuivre (pourcentage approximatif)			
1	40	2,8	760 N/mm <sup>2</sup>	1%
2	30	3,5	880 N/mm <sup>2</sup>	1%
3	40	2,8	380 N/mm <sup>2</sup>	8%

\* Ce facteur est le rapport de la résistance effective en courant continu du fil d'acier recouvert de cuivre et d'un fil de cuivre nu de même diamètre conforme à la Publication 28 de la CEI: Spécification internationale d'un cuivre type recuit.

Le recouvrement de cuivre doit être homogène et d'épaisseur uniforme sur toute la longueur des fils.

*Note.* — Dans le cas où une homogénéité suffisante de l'épaisseur radiale du recouvrement en cuivre pourrait être mise en doute, un essai de la résistance en courant alternatif à diverses fréquences pourrait être exécuté. Cela devra alors faire l'objet d'un accord entre acheteur et fabricant.

### 5.2.4 Exigences pour les conducteurs argentés

Lorsque des conducteurs en cuivre argenté ou en acier recouverts de cuivre argenté sont spécifiés, ils doivent répondre aux conditions des paragraphes 5.2.4.1 et 5.2.4.2.

#### 5.2.4.1 Continuité de la couche d'argent des conducteurs

Contrairement aux autres conditions de cette norme qui sont vérifiées sur les câbles terminés, la continuité de la couche d'argent sera vérifiée sur des échantillons représentatifs, prélevés avant toronnage ou isolation, au moyen de l'essai au polysulfure de sodium décrit ci-dessous.

##### a) Échantillons

Les échantillons à essayer doivent avoir chacun une longueur d'environ 150 mm (6 in).

Ils doivent être étiquetés ou marqués en correspondance avec la bobine, la botte ou le touret sur lequel ils ont été prélevés.

Les échantillons doivent être parfaitement nettoyés par immersion dans un solvant organique approprié, tel que la benzine, l'éther ou le trichloréthylène pendant au moins 3 min, puis enlevés, essuyés et séchés avec un linge propre et souple (avertissement: lors du choix des solvants de nettoyage, la toxicité et l'inflammabilité de ceux-ci devront être prises en considération).

Les échantillons ainsi nettoyés seront enveloppés dans un linge propre et sec jusqu'à l'essai. La partie d'échantillon à immerger dans la solution d'essai ne devra pas avoir été manipulée et des précautions seront prises pour éviter l'abrasion par les extrémités coupées.

##### b) Solution de polysulfure de sodium (densité 1,142)

Une solution concentrée sera préparée en dissolvant des cristaux de sulfure de sodium (chimiquement pur) dans l'eau distillée jusqu'à saturation de la solution à environ 21 °C et en ajoutant une quantité suffisante de fleur de soufre (plus de 250 g par litre de solution) pour obtenir une saturation complète, indiquée par la présence dans la solution d'un excès de soufre après que celle-ci aura été laissée à reposer pendant au moins 24 h. La solution

### 5.2.3 Requirements for copper-covered steel conductors

Copper-covered steel conductors shall comply with the requirements given in the following table:

TABLE I

Grade		Maximum resistance factor*	Minimum tensile strength of complete conductor	Minimum elongation on 250 mm (10 in)
No.	Copper (approximate %)			
1	40	2.8	760 N/mm <sup>2</sup>	1%
2	30	3.5	880 N/mm <sup>2</sup>	1%
3	40	2.8	380 N/mm <sup>2</sup>	8%

\* This factor is the ratio of the effective d.c. resistance of copper-covered steel wire and of bare copper wire of the same diameter according to IEC Publication 28: International Standard of Resistance for Copper.

The copper plating shall be homogeneous and the thickness of this plating shall be uniform along the entire length.

*Note.* — In case there is a doubt that the radial thickness of the copper plating might not be sufficiently homogeneous, an a.c. resistance test may be carried out at several frequencies. This should be agreed upon between purchaser and manufacturer.

### 5.2.4 Requirements for silvered conductors

Where silvered copper or silvered copper-covered steel conductors are specified, they shall fulfil the requirements of Sub-clauses 5.2.4.1 and 5.2.4.2.

#### 5.2.4.1 Continuity of the silver coating

Contrary to other requirements of this standard which are tested on completed cables, the continuity of the silver coating shall be determined on representative samples taken before stranding or insulating and shall be determined by the sodium polysulphide test as described below.

##### a) Specimens

Test specimens shall each have a length of about 150 mm (6 in).

They shall be tagged or marked to correspond with the coil, spool or reel from which they were cut.

The specimens shall be thoroughly cleaned by immersion in a suitable organic solvent such as benzine, ether, or trichloroethylene for at least 3 min, then removed and wiped dry with a clean, soft cloth (caution: consideration should be given to toxicity and flammability when selecting solvent cleaners).

The specimens thus cleaned shall be kept wrapped in a clean, dry cloth until tested. That part of the specimen to be immersed in the test solution shall not be handled. Care shall be taken to avoid abrasion by the cut ends.

##### b) Sodium polysulphide solution (specific gravity 1.142)

A concentrated solution shall be made by dissolving sodium sulphide crystals (chemically pure) in distilled water until the solution is saturated at about 21 °C, and adding sufficient flowers of sulphur (in excess of 250 g per litre of solution) to provide complete saturation, as shown by the presence in the solution of an excess of sulphur after the solution has been allowed to stand for at least 24 h. The test solution shall be made by diluting a portion of

d'essai sera faite en diluant une partie de la solution concentrée avec de l'eau distillée pour obtenir une densité de 1,142 à 15,6°C. La solution d'essai de polysulfure de sodium devra avoir une force suffisante pour noircir entièrement, en 5 s, un morceau propre de fil de cuivre nu. Une partie de la solution d'essai utilisée pour l'essai des échantillons n'est pas considérée comme épuisée tant qu'elle noircit un morceau de cuivre propre dans les conditions décrites plus haut.

*Note.* — Il est important que la solution de polysulfure soit de composition et de force convenables au moment de l'essai. Une solution qui n'est pas saturée avec du soufre ou qui aura été faite avec des cristaux de sulfure de sodium décomposés peut donner de fausses indications de défaut. Aussi la condition, suivant laquelle la solution doit être essayée par son effet de noircissement sur un fil de cuivre brillant, est significative. Significative aussi est la condition que la solution saturée avec du soufre soit laissée au repos pendant au moins 24 h après préparation. L'attention est attirée aussi sur la nécessité d'utiliser du sulfure de sodium qui n'a pas été détérioré par l'exposition à l'air, et si cette exposition s'est produite, les cristaux doivent être essayés pour vérifier leur pureté. Les «standard reagents tests» de l'«American Chemical Society» sont utilisés dans ce but.

*c) Solution d'acide chlorhydrique (densité 1,088)*

La qualité commerciale HCl (densité 1,12) sera diluée avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'on obtienne une densité de 1,088 à 15,6°C. Une partie de cette solution d'un volume de 180 ml doit être considérée comme épuisée si elle n'enlève pas en moins de 15 s la décoloration de l'argent due à l'immersion dans le polysulfure.

*d) Processus*

Une longueur d'au moins 120 mm (4,5 in) de chacun des échantillons nettoyés doit être immergée pendant 30 s dans la solution de polysulfure de sodium, décrite au point b) et maintenue à une température comprise entre 15,6°C et 21°C.

Après l'immersion, les échantillons seront immédiatement lavés à fond dans l'eau propre et séchés par essuyage avec un linge doux et propre.

Après lavage, les échantillons seront immédiatement immergés pendant 15 s dans la solution HCl décrite au point c), entièrement lavés à l'eau propre, essuyés et séchés avec un linge doux et propre.

*e) Examen des échantillons*

Après immersion et lavage, les échantillons seront examinés pour s'assurer que le cuivre exposé à travers les trous de la couche d'argent a bien été noirci par l'action du polysulfure de sodium. L'échantillon est examiné à l'œil nu contre un fond blanc.

*f) Exigences*

L'échantillon doit être considéré comme défectueux si, par un tel noircissement, le cuivre exposé est révélé. On ne doit pas tenir compte des noircissements situés à moins de 12 mm (0,5 in) des extrémités coupées.

**5.2.4.2 Épaisseur de la couche d'argent**

L'épaisseur radiale de l'argent, quand elle est mesurée avec un microscope, ne doit pas être inférieure à 1 µm (40 µin).

**5.2.4.3 Méthode de mesure pour vérifier la qualité des conducteurs argentés enlevés du câble terminé**

A l'étude.

**5.3 Diélectrique**

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

the concentrated solution with distilled water to a specific gravity of 1.142 at 15.6 °C. The sodium polysulphide test solution should have sufficient strength to blacken thoroughly a piece of clean uncoated copper wire in 5 s. A portion of the test solution used for testing samples shall not be considered to be exhausted until it fails to blacken a piece of clean copper as described above.

*Note.* — It is important that the polysulphide solution be of a proper composition and strength at the time of test. A solution which is not saturated with sulphur or which has been made from decomposed sodium sulphide crystals may give a false indication of failure. Therefore, the requirement that the solution be tested by observing its blackening effect on a bright copper wire is significant. Also significant is the requirement that the solution be saturated with sulphur by allowing the solution to stand at least 24 h after preparation. Attention is called also to the necessity for the use of sodium sulphide which has not deteriorated through exposure to air; and if exposure has occurred, the crystals should be tested for purity. The "standard reagents tests" of the American Chemical Society are useful in this connection.

c) *Hydrochloric acid solution (specific gravity 1.088)*

Commercial hydrochloric acid (specific gravity 1.12) shall be diluted with distilled water to a specific gravity of 1.088 measured at 15.6 °C. A portion of the hydrochloric acid solution having a volume of 180 ml shall be considered exhausted if it fails to remove within 15 s the discoloration of the silver due to the polysulphide immersion.

d) *Procedure*

A length of at least 120 mm (4.5 in) from each of the clean specimens shall be immersed for 30 s in the sodium polysulphide solution, described in Item b), maintained at a temperature between 15.6 °C and 21 °C.

After the immersion, the specimens shall immediately be thoroughly washed in clean water and wiped dry with a clean, soft cloth.

After washing, the specimens shall immediately be immersed for 15 s in the hydrochloric acid solution described in Item c), thoroughly washed in clean water and wiped dry with a clean, soft cloth.

e) *Examination of specimens*

After immersion and washing, the specimens shall be examined to ascertain if copper exposed through openings in the silver coating has been blackened by action of the sodium polysulphide. The specimen is examined with the naked eye against a white background.

f) *Requirements*

The specimens shall be considered to have failed, if, by such blackening, exposed copper is revealed. No attention shall be paid to blackening within 12 mm (0.5 in) of the cut end.

5.2.4.2 *Thickness of the silver coating*

The radial thickness of the silver, when measured with a microscope, shall be not less than 1 µm (40 µin).

5.2.4.3 *Measuring method for determining the quality of silvered conductors taken from the completed cable*

Under consideration.

5.3 *Dielectric*

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

#### 5.4 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 fil de cuivre ou un ruban 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 la spécification particulière.
- 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 au gaz, de matériau conducteur convenable.
- 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 au point a) ci-dessus, 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 doivent pas montrer de décoloration substantielle. Les conducteurs doivent être débarrassés de tout flux décapant et matières de nettoyage.

#### 5.5 Protection extérieure

Lorsque ceci est prévu dans la spécification particulière, 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) Une gaine plastique. La gaine ne doit pas présenter de perforations, craquelures, soufflures et autres défauts et doit avoir 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 doivent être conformes à la spécification particulière.

*Note.* — Lorsque le terme PVC est utilisé, il se rapporte à des mélanges plastifiés de polychlorure de vinyle 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.
- d) Une armure, lorsqu'elle est prévue dans la spécification particulière.

Les prescriptions concernant les matériaux spécifiques de protection utilisés dans la construction de l'armure extérieure de protection sont les suivantes:

- les tresses de fils d'acier ou d'aluminium doivent assurer un facteur de recouvrement minimal de 80%;
- la résistance à la traction des fils ne doit pas être inférieure à 340 N/mm<sup>2</sup> (mesurée sur la matière première);
- dans le rubanage avec un feuillard d'acier en une seule couche, l'espace entre les spires ne doit pas excéder 4 mm mesuré perpendiculairement au bord du ruban. Avec une armure comprenant plus d'une couche de ruban d'acier, l'espace entre la spire de chaque ruban individuel doit être compris entre 1/3 et 1/2 de la largeur du ruban;
- le ruban supérieur doit être placé de façon telle que l'espace entre les spires successives du ruban inférieur soit totalement recouvert;
- le ruban de laiton doit avoir une épaisseur d'environ 0,1 mm et doit être appliqué avec un recouvrement d'au moins 25%. Les fils ou rubans d'acier doivent être galvanisés. Les tresses d'aluminium doivent être protégées contre la corrosion.



#### 5.4 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 detail 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) A layer of metal or metallized film applied with an approximate overlap of 25%, covered with a copper braid, as in Item a) above, woven over the film.

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

#### 5.5 Outer protection

When specified in the detail 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 exterior diameter and the thickness of the sheath shall be as specified in the detail specification.

*Note.* — Where the term PVC is used, it denotes a plasticized compound of polyvinyl chloride, or vinylchloride-vinylacetate copolymers.

- b) Varnished glass braid with or without waterproof tapes.
- c) A serving or any other protection as specified in the detail specification.
- d) Armouring, where provided for in the detail specification.

Requirements for specific protective materials used in the construction of armoured outer protection are as follows:

- braids of steel or aluminium wires shall provide a minimum covering of 80%;
- the tensile strength of the wires shall not fall below 340 N/mm<sup>2</sup> (measured in the raw condition);
- in single-layer steel tape wrapping, the space between the windings shall be 4 mm maximum measured rectangularly to the tape edge. With an armouring of more than one layer of steel tape the space between the winding of each individual tape shall not exceed the limits of 1/3 to 1/2 of the tape width;
- the upper tape shall be positioned so that the space between successive turns of the lower tape is fully covered;
- brass tape shall have a thickness of approximately 0.1 mm and shall be applied with an overlap of at least 25%. Steel wires or tapes shall be galvanized. Aluminium braids shall be protected against corrosion.

*Note.* — Les détails de construction et de dimension de l'armure seront spécifiés pour chaque cas particulier selon le risque envisagé. En conséquence, il n'est pas possible de fournir des prescriptions précises dans la spécification particulière.

Le tableau suivant énumère des exemples typiques de construction en vue de répondre à quelques risques choisis.

Risque	Exemples typiques de construction appropriée
Abrasions, manipulations brutales	Tresse en acier ou en alliage d'aluminium
Effort de traction	Armure hélicoïdale en fils d'acier ronds ou méplats
Effort de compression	Enrubannage avec deux rubans d'acier
Détériorations causées par des rongeurs	Enrubannage avec un ruban d'acier
Détériorations causées par les termites	Enrubannage avec un ruban de laiton de faible épaisseur à recouvrement

L'armure en fils métalliques est d'autant plus efficace que le recouvrement se rapproche de 100%.

Quand un guirlandage en sens opposé est appliqué sur l'armure en fils métalliques, un revêtement supplémentaire final peut être prévu conformément aux autres prescriptions de ce paragraphe.

#### 6. Conditions atmosphériques normales d'essai

Sauf prescriptions contraires, tous les essais seront exécutés dans les conditions spécifiées par la Publication 68 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique.

Avant que les mesures 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.

*Note.* — 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.

### SECTION DEUX — ESSAIS ÉLECTRIQUES

#### 7. Résistivité du (ou des) conducteur(s) intérieur(s)

##### 7.1 Résistivité du (ou des) conducteur(s) en cuivre

Lorsque des conducteurs en cuivre seront spécifiés, ils devront être tréfilés à partir de cuivre dont la résistivité sera conforme à la Publication 28 de la CEI.

##### 7.2 Résistivité pour le(s) conducteur(s) en acier recouvert(s) de cuivre

Lorsque des conducteurs en acier recouverts de cuivre sont spécifiés, ils doivent avoir leur résistivité conforme à celle de la qualité du matériau (voir tableau I, paragraphe 5.2.3) spécifiée dans la spécification particulière.

#### 8. Rigidité diélectrique de l'âme

Le diélectrique entre conducteurs intérieurs et entre le(s) conducteur(s) intérieur(s) et le conducteur extérieur ou l'écran du câble doit résister, sans rupture, pendant 1 min, à une



*Note.* — Constructional and dimensional details of armouring need to be specified for each individual case according to the hazard to be expected. It is therefore not possible to specify exact requirements in the detail specification.

The following table gives typical examples of construction to suit some selected hazards.

Hazard	Typical examples of suitable construction
Abrasions, rough handling	Braid made of steel or aluminium alloy
Tensile stress	Helical covering by round or flat steel wires
Compression stress	Wrapping with two steel tapes
Rodent attack	Wrapping with one steel tape
Termite attack	Wrapping with a thin one-layer brass tape

Wire armouring becomes more effective the nearer it approaches 100% covering.

When an opposing open winding is applied over the wire armouring, a final supplementary covering may be provided according to the other requirements of this sub-clause.

## 6. Standard atmospheric conditions for testing

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under the conditions specified in IEC Publication 68: Basic Environmental Testing Procedures.

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.

## SECTION TWO — ELECTRICAL TESTS

### 7. Resistivity of inner conductor(s)

#### 7.1 Resistivity of copper conductor(s)

Where copper conductors are specified, they shall be drawn from copper, the resistivity of which shall be in accordance with IEC Publication 28.

#### 7.2 Resistivity of copper-covered steel conductor(s)

Where copper-covered steel inner conductors are specified, these shall have the resistivity according to the grade of material (see Table I, Sub-clause 5.2.3) specified in the detail specification.

### 8. 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 min an alter-

tension alternative d'une valeur qui est indiquée dans la spécification particulière. La fréquence doit être comprise entre 40 Hz et 60 Hz et la forme de l'onde doit 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 1 h dans l'eau (eau de ville), à une température de  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . La tension doit être appliquée successivement entre chaque conducteur et l'eau, l'autre conducteur étant connecté à l'eau.

Pour les câbles en paires sous écran, la tension doit être appliquée entre les conducteurs, chacun d'entre eux étant successivement relié à l'écran. Pour des câbles avec écran isolé, la tension d'essai prévue dans la spécification particulière doit être appliquée entre cet écran et le conducteur extérieur.

## 9. Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieurs et entre chaque conducteur intérieur et le conducteur extérieur ou l'écran doit être mesurée après une électrification de  $60 \pm 5$  s, sous une tension continue de  $500 \pm 50$  V.

## 10. Rigidité diélectrique de la gaine

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

### 10.1 Essai par immersion

Le câble doit être immergé dans l'eau à une température de  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  pendant 1 h. A la fin de cette période, une tension d'essai alternative de la valeur indiquée par le tableau II doit être appliquée pendant une durée supérieure à 1 min, mais n'excédant pas 2 min, entre le conducteur extérieur ou l'écran et l'eau.

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

TABLEAU II

Épaisseur nominale de la gaine (mm)	Tension d'essai (kV eff.)
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

### 10.2 Essai d'étincelles

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

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

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

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

#### 10.2.2 La sensibilité minimale 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.

nating voltage, the value of which is specified in the detail 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 h in water (tapwater) at a temperature of  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . 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 detail specification shall be applied between this screen and the outer conductor.

## 9. 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  $60 \pm 5$  s, with a direct voltage of  $500 \pm 50$  V.

## 10. 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.

### 10.1 Test by immersion

The cable shall be immersed in water (tapwater) at a temperature of  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  for a period of 1 h. At the end of this period, an alternating test voltage as specified in Table II shall be applied for a period of not less than 1 min and not more than 2 min between the conductor or screen and the water.

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

TABLE II

Nominal thickness of the sheath (mm)	Test voltage (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

### 10.2 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.

#### 10.2.1 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 s.

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

#### 10.2.2 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.

Le potentiel de l'électrode doit être de 6000 V (valeur efficace) 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 s et la distance entre ces deux électrodes durant ce temps doit être de 5 mm.

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

TABLEAU III

Epaisseur nominale de la gaine (mm)	Tension d'essai (kV eff.)
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

# 11. Essai de décharge (essai de couronne)

- 11.1 Un échantillon d'essai d'une longueur approximative de 1 m, non compris les extrémités dénudées, est prélevé et terminé de telle manière que des décharges ne puissent se produire aux extrémités ou dans une autre partie du circuit de mesure.
- 11.2 La tension appliquée doit avoir une fréquence comprise entre 40 Hz et 60 Hz et doit être accrue progressivement jusqu'à ce qu'une décharge apparaisse. En règle générale, pour déterminer la «tension d'extinction», la tension d'essai doit être diminuée progressivement jusqu'à ce qu'aucune décharge n'apparaisse plus et l'on note alors la valeur de la tension mesurée à ce moment. Elle ne doit pas être inférieure à la valeur indiquée dans la spécification particulière. La durée totale d'application de la tension sur le câble ne doit pas excéder 5 min.
- 11.3 Le circuit de mesure pour cet essai doit être le suivant, ou un circuit similaire donnant les mêmes résultats.

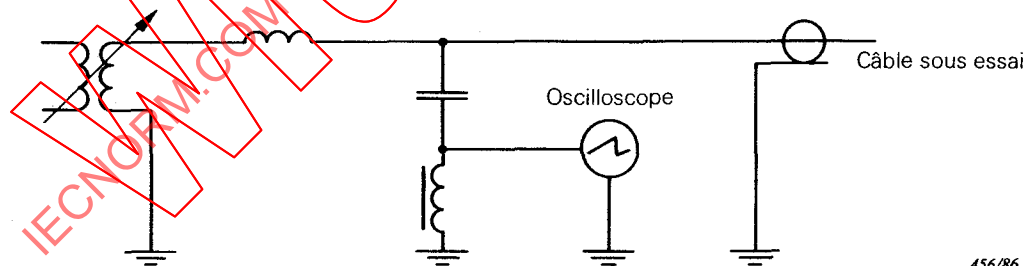


FIGURE 1

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 MΩ.

The electrode potential shall be 6000 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 s and the distance between them during this time shall be 5 mm.

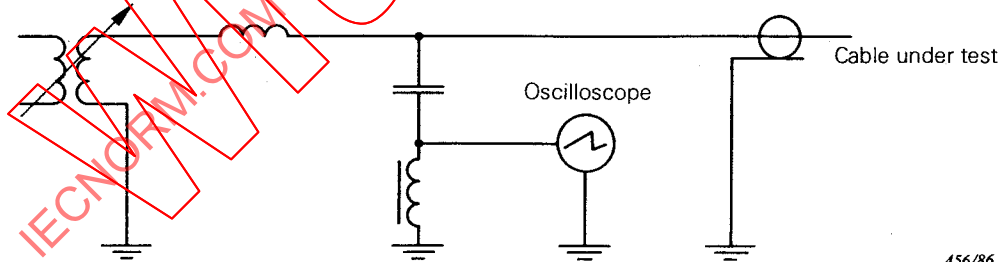
- 10.2.3 The test voltage shall have a value as specified in Table III and its frequency shall be between 40 Hz and 60 Hz.

TABLE III

Nominal thickness of the sheath (mm)	Test voltage (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

## 11. Discharge test (corona test)

- 11.1 A test piece shall be taken with a length of approximately 1 m, 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.
- 11.2 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 detail specification. The total duration of the application of the voltage to the cable shall not exceed 5 min.
- 11.3 The measuring circuit for this test shall be the following or a similar circuit giving the same results.



456/86

FIGURE 1

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 the oscilloscope, 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 MΩ.

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  $\mu$ V puisse être clairement distinguée, et son impédance d'entrée ne doit pas être inférieure à 1 M $\Omega$ .

*Note.* — Une méthode additionnelle pour l'essai de décharge est indiquée dans l'annexe A.

## 12. Capacité et déséquilibre de capacité

### 12.1 Capacité

#### 12.1.1 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 100 fois le diamètre sur diélectrique, à une fréquence comprise entre 500 Hz et 1 MHz. La capacité doit être comptée en picofarads par mètre.

#### 12.1.2 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 le paragraphe 12.1.1.

### 12.2 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 qu'au paragraphe 12.1.2

Il sera déterminé par:

- a) les mesures de capacité indiquées au paragraphe 12.1.2; ou
- b) une méthode directe.

## 13. 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.

*Note.* — 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.

## 14. Impédance caractéristique

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



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 oscilloscope.

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

*Note.* — An alternative test method for the discharge test is included in Appendix A.

## 12. Capacitance and capacitance unbalance

### 12.1 Capacitance

#### 12.1.1 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.

#### 12.1.2 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 Sub-clause 12.1.1.

### 12.2 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 Sub-clause 12.1.2

This shall be determined by:

- a) the capacitance measurements specified in Sub-clause 12.1.2; or
- b) a direct method.

## 13. 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 detail 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.

## 14. Characteristic impedance

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



Les mesures doivent être effectuées en utilisant la méthode spécifiée au paragraphe 14.2 ou bien par toute autre méthode permettant une précision de  $\pm 2\%$ .

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

- 14.2 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 13, et de la capacité, mesurée suivant l'article 12.

L'impédance caractéristique doit être calculée d'après la formule:

$$Z_m = \frac{1}{v_r c C} \Omega$$

où:

$v_r$  = vitesse de propagation relative

$c$  = vitesse de propagation dans l'espace libre, en mètres/seconde

$C$  = capacité, en farads/mètre

*Notes 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.

2. — «L'impédance caractéristique effective  $Z_e$ » à une fréquence particulière est une fonction des variations des impédances caractéristiques élémentaires et de 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 15.

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

## 15. Uniformité de l'impédance

Le but de cet essai est de déterminer les variations de l'impédance caractéristique effective,  $Z_e$ , dans toute une bande de fréquences déterminée. Les mesures sont effectuées en utilisant l'une des méthodes, indiquées à l'article A2 de l'annexe A, procurant une précision de  $\pm 2\%$ .

*Note.* — La méthode des vingt points peut être utilisée à sa place jusqu'à ce que des limites générales acceptables aient été agréées pour la méthode d'essai précédente.

Cela devra faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

## 16. 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 décibels) et à une fréquence de 200 MHz et/ou 3000 MHz, comme indiqué dans la spécification particulière. Une méthode appropriée pour chacune de ces fréquences est donnée dans l'annexe A (voir article A4).

## 17. Déséquilibre de transmission

A l'étude.

## 18. Efficacité d'écran

Une méthode convenable est donnée dans l'annexe A (voir article A5).

## 19. Valeurs de pointe du coefficient de la tension réfléchie de câbles pour fréquences radioélectriques auxquels s'appliquent les prescriptions d'uniformité de l'impédance

### 19.1 Méthode de mesure

Il faudra prendre les précautions nécessaires pour s'assurer que l'affaiblissement du câble essayé et la précision de ses terminaisons soient tels que la réflexion obtenue à l'entrée du câble, et due à la réflexion à son extrémité opposée, ne soit pas supérieure à  $r = 0,005$  (taux d'ondes stationnaires [t.o.s.] 1,01).

The measurements shall be carried out by using the method specified in Sub-clause 14.2 or by using another method providing an accuracy of  $\pm 2\%$ .

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

- 14.2 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 13, and the capacitance, measured in accordance with Clause 12.

The characteristic impedance shall be calculated from:

$$Z_m = \frac{1}{v_r c C} \Omega$$

where:

$v_r$  = velocity ratio

$c$  = velocity of propagation in free space, in metres/second

$C$  = capacitance, in farads/metre

*Notes 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 impedance along the length of that cable.

2. — The "effective characteristic impedance,  $Z_e$ ", at any frequency is a function of the variation 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. The discrepancies between these values are measured as indicated in Clause 15.

3. — For guidance, some suitable methods for measuring characteristic impedances are given in Appendix A.

## 15. Uniformity of impedance

The object of this test is to determine the variation of effective characteristic impedance,  $Z_e$ , through a specified frequency band. The measurement shall be carried out by using one of the methods specified in Clause A2 of Appendix A, providing an accuracy of  $\pm 2\%$ .

*Note.* — The twenty-points method may be used instead, until general acceptable limits have been agreed upon concerning the above test method.

This shall then be agreed upon between manufacturer and user.

## 16. Attenuation constant

The attenuation constant shall be determined by a suitable method providing an accuracy of  $\pm 5\%$  (of the value of attenuation in decibels) and at a frequency of 200 MHz and/or 3000 MHz as specified in the detail specification. A suitable method for each of these frequencies is given in the Appendix A (see Clause A4).

## 17. Transmission unbalance

Under consideration.

## 18. Screening efficiency

A suitable test method is given in Appendix A (see Clause A5).

## 19. Peak values of voltage reflection coefficient of r.f. cables for which uniformity of impedance requirements apply

### 19.1 Measuring procedure

Precautions shall be taken to ensure that the attenuation of the cable under test and the accuracy of the termination are such that the reflection measured at the input of the cable, caused by the reflection at the far end of the cable, does not exceed  $r = 0.005$  (voltage standing wave ratio [v.s.w.r.] 1.01).

En vue d'obtenir une évaluation précise des réflexions de résonance, l'affaiblissement du câble essayé ne doit pas être inférieur à 10 dB. Au cas où la valeur de 10 dB ne serait pratiquement pas réalisable, il faudra que l'acheteur et le fabricant se mettent d'accord sur la longueur de câble à essayer.

Les résonances d'un câble peuvent être extrêmement aiguës. Il convient de s'assurer que les appareils indicateurs ou enregistreurs suivent correctement ces variations rapides. On y parvient aisément en diminuant la vitesse des variations de fréquence, jusqu'à ce que l'indication soit indépendante de la vitesse de balayage.

Les mesures doivent être effectuées à partir des deux extrémités du câble.

#### 19.2 Précision de mesure

La précision de mesure (y compris l'incidence des dispositifs de connexion du câble) doit être supérieure à  $\pm 10\%$  du coefficient de la tension réfléchie mesuré ou à une réflexion résiduelle de  $r \leq 0,02$  (t.o.s. 1,04), la valeur supérieure étant retenue.

#### 19.3 Prescriptions

Il est donné deux limites pour les valeurs de pointe du coefficient de réflexion: une limite maximale à ne dépasser à aucune fréquence dans la gamme considérée, et une deuxième limite supérieure ne devant pas être dépassée par un nombre de valeurs de crête supérieur à celui qui est spécifié dans la spécification particulière.

### SECTION TROIS — ESSAIS CHIMIQUES

#### 20. Résistance aux fluides

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 l'acheteur et le fabricant.

### SECTION QUATRE — ESSAIS CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE

#### 21. 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 à l'extension du conducteur extérieur;
- b) des variations réversibles, dues à la dilatation ou à 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 68-2-14 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Deuxième partie: Essais — Essai N: Variations de température.

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

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

- 4 h à 8 h à haute température
- 4 h à 24 h à température normale
- 4 h à 8 h à basse température
- 4 h à 24 h à température normale.

In order to arrive at an accurate evaluation of the resonance reflections, the attenuation of the cable under test shall not be less than 10 dB. In case 10 dB is an impracticable value, the length of the cable to be tested shall be agreed upon between purchaser and manufacturer.

Cable resonances may be extremely sharp. It should be verified that the indicating or recording devices properly follow these quick variations. This is easily checked by reducing the rate of frequency change until the indication is independent of the rate.

Cables shall be measured from both ends.

#### 19.2 *Measuring accuracy*

The measuring accuracy (including the influence of cable connecting devices) shall be better than  $\pm 10\%$  of the measured voltage reflection coefficient or a residual reflection of  $r \leq 0.02$  (v.s.w.r. 1.04), whichever is the greater.

#### 19.3 *Requirements*

Two limits shall be given for peak values of reflection coefficient: a maximum limit not to be exceeded at any frequency within the range, and a second upper limit not to be exceeded by more than the number of peaks specified in the detail specification.

### SECTION THREE — CHEMICAL TESTS

#### 20. **Resistance to fluids**

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

### SECTION FOUR — CLIMATIC AND MECHANICAL ROBUSTNESS TESTS

#### 21. **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 IEC Publication 68-2-14: Basic Environmental Testing Procedures, Part 2: Tests — Test N: Change of Temperature.

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

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

- 4 h to 8 h at high temperature
- 4 h to 24 h at standard temperature
- 4 h to 8 h at low temperature
- 4 h to 24 h at standard temperature.

Les valeurs de la haute et de la basse température doivent être indiquées dans la spécification particulière. La durée de séjour à haute ou basse température doit être suffisante pour que la stabilité de la température de l'échantillon soit atteinte.

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

## 22. 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 68-2-14 de la CEI.

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

- 22.2 Le câble doit alors être soumis trois fois au cycle suivant

- 4 h à haute température
- 4 h à température normale
- 4 h à basse température
- 4 h à température normale.

La valeur de la haute et de la basse température doit être indiquée dans la spécification particulière.

- 22.3 A la fin du dernier cycle, l'affaiblissement est mesuré. Le câble doit 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 doit être à nouveau mesuré. Les variations par rapport à la valeur mesurée, avant cet essai, ne doivent pas excéder les valeurs indiquées dans la spécification particulière.

## 23. 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 prescrira ou non si la mesure de l'affaiblissement avant et après l'essai à haute température est applicable.

La dernière mesure est destinée à évaluer l'influence de la température sur les propriétés électriques.

Si la mesure de l'affaiblissement n'est pas prescrite, l'objet de ces essais est seulement d'évaluer l'importance des dommages physiques subis par les matériaux constituant le diélectrique ou la gaine.

### 23.1 Essai à haute température

Cet essai doit être effectué conformément à l'essai B de la Publication 68-2-2 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Deuxième partie: Essais — Essai B: Chaleur sèche.



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

- 21.3 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 detail specification.

## 22. 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 Test N of IEC Publication 68-2-14.

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

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

- 4 h at high temperature
- 4 h at standard temperature
- 4 h at low temperature
- 4 h at standard temperature.

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

- 22.3 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 values specified in the detail specification.

## 23. 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 detail specification shall prescribe whether or not measurement of attenuation before and after high-temperature test is applicable.

The latter measurement is intended to check the influence of temperature on the electrical properties.

If measurement of the attenuation is not prescribed, the object of these tests is only to check mechanical damage of the material of dielectric and sheath.

### 23.1 High-temperature test

This test shall be carried out in accordance with Test B of IEC Publication 68-2-2: Basic Environmental Testing Procedures, Part 2: Tests — Tests B: Dry Heat.

### 23.1.1 *Echantillons à soumettre aux essais*

Les échantillons à soumettre aux essais sont prélevés sur un câble complet et doivent avoir une longueur d'au moins 150 fois le diamètre extérieur du câble lorsque ce diamètre est inférieur à 12,7 mm (0,5 in) et d'au moins 120 fois le diamètre extérieur du câble lorsque celui-ci est égal ou supérieur à 12,7 mm (0,5 in).

Lorsque la mesure de l'affaiblissement, après les essais à haute température, est prescrite par la spécification particulière, un échantillon additionnel doit être soumis à cet essai, sa longueur étant choisie afin de permettre la mesure de l'affaiblissement avec la précision prescrite à l'article 16. Pendant l'exposition à haute température, l'échantillon ne doit pas être enroulé sur un diamètre inférieur à 30 fois le diamètre nominal extérieur du câble.

### 23.1.2 *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.

### 23.1.3 *Durée d'exposition et température des essais*

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

- 100 – 4 °C pour les câbles avec diélectrique en polyéthylène
- 200 ± 5 °C pour les câbles avec diélectrique en polytétrafluoroéthylène.

### 23.1.4 *Reprise*

A la fin de la période spécifiée, les échantillons sont enlevés de la chambre et mis à refroidir pendant 1 h dans les conditions atmosphériques normales d'essai.

### 23.1.5 *Exigences après essai*

#### a) *Electriques*

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

#### b) *Mécaniques*

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

Il ne doit être constaté aucune détérioration du diélectrique ou de la gaine.

*Note.* — Des exigences additionnelles concernant les tensions internes des gaines en PVC sont à l'étude.

### 23.2 *Essai à basse température*

Cet essai doit être exécuté conformément à l'essai A de la Publication 68-2-1 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Deuxième partie: Essais — Essais A: Froid.

#### 23.2.1 *Echantillons à soumettre aux essais*

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

Pendant l'exposition à basse température, l'échantillon ne doit pas être enroulé sur un diamètre inférieur à 30 fois le diamètre nominal extérieur du câble.

#### 23.2.2 *Durée et température d'exposition*

Les échantillons doivent être soumis pendant 20 h à la température indiquée dans la spécification particulière.



### 23.1.1 *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.

Where measurement of the attenuation is required by the detail 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 the accuracy as required in Clause 16. During high-temperature exposure the sample shall not be coiled to a diameter less than 30 times the nominal outside diameter of the cable.

### 23.1.2 *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.

### 23.1.3 *Period of exposure and temperature*

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

- 100 – 4°C for cables with dielectric of polyethylene
- 200 ± 5°C for cables with dielectric of polytetrafluoroethylene

### 23.1.4 *Recovery*

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

### 23.1.5 *Requirements after test*

#### a) *Electrical*

If required by the detail 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 detail 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 ten times in a period of 5 min.

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

*Note.* — Additional requirements with regard to internal stresses of PVC sheaths are still under consideration.

## 23.2 *Low-temperature test*

This test shall be carried out in accordance with Test A of IEC Publication 68-2-1: Basic Environmental Testing Procedures, Part 2: Tests — Test A: Cold.

### 23.2.1 *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.

### 23.2.2 *Period of exposure and temperature*

The specimens shall be subjected to this test for 20 h at a temperature as specified in the detail specification.

A la fin de la période indiquée et tandis qu'il est encore dans la chambre froide, le câble doit 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 s approximativement. L'enroulement est 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.

### 23.2.3 Exigences après essais

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

## 24. Essai de fluage

Cet essai détermine la résistance du diélectrique à la déformation physique à haute température. Pour des raisons de commodité (ou par convention), le déplacement du conducteur intérieur, chargé comme il est indiqué au paragraphe 24.1, 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 68-2-2 de la CEI.

- 24.1 Une longueur de câble égale à 30 fois le diamètre nominal extérieur de celui-ci doit être soumise à une température de  $100 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant une durée de  $7\frac{1}{2}$  h. Pendant ce temps, un poids, de valeur indiquée dans la spécification particulière, doit être fixé 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.
- 24.2 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 1 h, dans 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.

## 25. Stabilité dimensionnelle (pour câbles ayant un diamètre sur diélectrique égal ou inférieur à 7,25 mm seulement)

### 25.1 Objet

Contrôler l'amplitude des déplacements du diélectrique par rapport au conducteur intérieur, afin d'obtenir une indication quant à l'aptitude d'un câble à être utilisé avec des connecteurs.

### 25.2 Mesures initiales

On prélève un échantillon de câble de 1,5 m de longueur, en prenant soin que les extrémités aient une coupe nette et perpendiculaire à l'axe.

### 25.3 Conditionnement

Trois échantillons sont enroulés en anneau à l'intérieur d'un récipient cylindrique ouvert ayant un diamètre d'approximativement 30 fois le diamètre extérieur du câble (voir figure 2, page 38). Ils sont disposés de telle manière qu'aucun mode de fixation ne soit utilisé pour les maintenir. On s'assure, après enroulement, que le conducteur intérieur et le diélectrique sont bien dans le même plan à l'une et l'autre extrémité du câble.

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 one turn in 4 s. 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.

### 23.2.3 *Requirements after test*

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

## 24. **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 Subclause 24.1, 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 IEC Publication 68-2-2.

24.1 A length of cable 30 times the outer diameter of the cable shall be submitted to a temperature of  $100 \pm 2^\circ\text{C}$  for a period of  $7\frac{1}{2}$  h. During this time, a weight, as specified in the detail specification, 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 cable shall be bent symmetrically with the weights hanging free over a horizontal test mandrel with a diameter of approximately 10 times the outer diameter of the cable.

24.2 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 h 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 detail specification.

## 25. **Dimensional stability (for cables with diameter over dielectric of 7.25 mm and smaller only)**

### 25.1 *Object*

To control the magnitude of the displacement of the dielectric with respect to the inner conductor, so as to obtain an indication with regard to the suitability of a cable for use with connectors.

### 25.2 *Initial measurements*

A sample of cable 1.5 m in length shall be taken and the ends shall have a smooth cut perpendicular to the axis.

### 25.3 *Conditioning*

Three test samples shall be coiled at the interior surface of an open cylindrical container having a diameter of approximately 30 times the maximum outer diameter of the cable (see Figure 2, page 39). They shall be applied in such a way that no means of fixation will be used to keep them in their position. After coiling, it shall be checked that the inner conductor and the dielectric are in the same plane at both ends of the cable.

Le récipient avec les câbles est alors placé dans une enceinte ayant la température demandée dans la spécification particulière et maintenu à cette température pendant une durée de 20 h.

*Note.* — Si cela est nécessaire pour des raisons d'ordre pratique, on peut utiliser un récipient par échantillon soumis à l'essai.

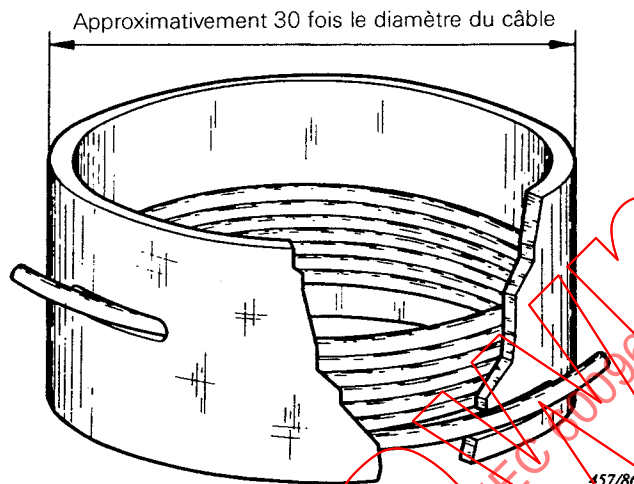


FIGURE 2

#### 25.4 Reprise

A la fin de la période spécifiée au paragraphe 25.3, le câble doit être enlevé de l'enceinte et mis à refroidir à la température de la pièce.

#### 25.5 Mesures finales

Sans dérouler les échantillons, le déplacement du diélectrique par rapport au conducteur intérieur est mesuré à chaque extrémité. La moyenne des six mesures est calculée.

Les valeurs admissibles sont données dans chaque spécification particulière.

### SECTION CINQ — MARQUAGE

#### 26. Couleur de la gaine

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

#### 27. 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.

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

*2.* — Les câbles armés peuvent être marqués par l'insertion d'un ruban approprié, imprimé avec les informations spécifiées par l'article 27 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.

The container with the cables shall then be placed in a chamber having a temperature as called for in the detail specification and be kept at that temperature for a period of 20 h.

*Note.* — Where necessary for practical reasons, one sample at a time may be put in the container.

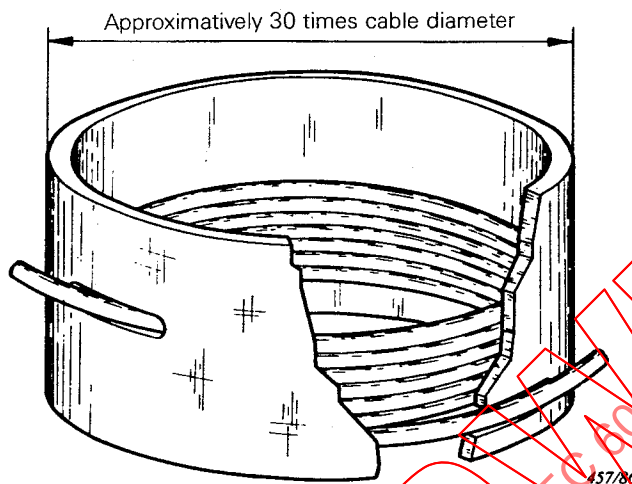


FIGURE 2

#### 25.4 *Recovery*

At the end of the period specified in Sub-clause 25.3, the cable shall be removed from the chamber and allowed to cool to room temperature.

#### 25.5 *Final measurements*

Without uncoiling the samples, the displacement of the dielectric with respect to the inner conductor shall be measured at both ends. The average of the six measurements shall be calculated.

The requirements are given in each detail specification.

### SECTION FIVE — MARKING

#### 26. **Colour of the sheath**

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

#### 27. **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:

50 cm maximum on unarmoured cable

20 cm maximum on armoured cable.

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

*2.* — Armoured cable may be marked by the insertion of a suitable tape printed with the information specified in Clause 27, 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.

## 28. Numérotation de type

28.1 Les câbles coaxiaux pour fréquences radioélectriques conformes aux spécifications de la CEI sont distingués par un numéro de type défini comme suit:

- a) le numéro de la Publication CEI (96);
- 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  $\Omega$ , un diamètre sur diélectrique de 7,25 mm et étant le premier type qui ait ces caractéristiques, est indiqué comme suit:

96 IEC 50-7-1

28.2 Les câbles en paires conformes aux spécifications de la CEI sont distingués par un numéro de type défini comme suit:

- a) le numéro de la Publication CEI (96);
- b) les lettres «IEC»;
- c) un nombre indiquant approximativement la valeur de l'impédance caractéristique nominale;
- d) un numéro de série.

*Exemple:*

Un câble ayant une impédance de 300  $\Omega$  et étant le premier type qui ait ces caractéristiques est indiqué comme suit:

96 IEC 300-1

---



**28. Type number**

28.1 R.F. coaxial cables which conform to IEC specifications shall be indicated by type numbers as follows:

- a) the number of the IEC Publication (96);
- 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  $\Omega$ , a 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

28.2 Twin cables which conform to IEC specifications shall be indicated by type numbers as follows:

- a) the number of the IEC Publication (96);
- b) the letters "IEC";
- c) a number giving the rated characteristic impedance;
- d) a serial number.

*Example:*

A cable with an impedance of 300  $\Omega$  and being the first type with this characteristic, shall be indicated as follows:

96 IEC 300-1

---

## ANNEXE A

## MÉTHODES DE MESURE ADDITIONNELLES

Les méthodes décrites dans la présente annexe sont données à titre indicatif et permettent de satisfaire aux prescriptions relatives à la précision des essais spécifiés dans la première partie. Ces méthodes ne sont pas obligatoires.

## A1. Impédance caractéristique

A1.1 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  $\Delta f$  et de la capacité  $C$  de l'échantillon de câble en essai, on peut calculer, comme suit, l'impédance caractéristique moyenne:

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

où:

$Z_m$  = impédance moyenne, en ohms

$\Delta f$  = différence de fréquence, en hertz

$C$  = capacité de l'échantillon du câble, en farads

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

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

## A2. Uniformité d'impédance

## A2.1 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.

## APPENDIX A

## ADDITIONAL MEASURING METHODS

The methods described in this appendix are given for information only and are capable of meeting the accuracy requirements of the tests specified in Part 1. They are not mandatory.

## A1. Characteristic impedance

A1.1 Mean characteristic impedance ( $Z_m$ )

The mean impedance,  $Z_m$ , can be measured at 200 MHz by methods in which:

- 1) The capacitance is measured (at a frequency between 500 Hz and 1 MHz).

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

- 2) The resonant frequency of the order of 200 MHz 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 of 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, the 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  $\Delta f$  and the capacitance  $C$  of the length of the cable, the mean impedance can be calculated as follows:

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

where:

$Z_m$  = mean impedance, in ohms

$\Delta f$  = frequency difference, in hertz

$C$  = capacitance of cable sample, in farads

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

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

## A2. Uniformity of impedance

## A2.1 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.

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 cosinusoidales 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'essais 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  $Z_e$ . Cela 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 des paragraphes A2.2 et A2.3 ne donnent pratiquement d'indications que sur les premiers mètres des câbles en mesure, les irrégularités plus éloignées étant pratiquement masquées par cet affaiblissement.

#### A2.2 Méthode par impulsions (uniformité de $Z_x$ )

Cette méthode utilise la bande de fréquences composant l'impulsion appliquée. Les harmoniques au-dessus de 40 MHz environ 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  $\mu$ s à 0,2  $\mu$ s. Les mesures doivent être faites à chaque extrémité du câble. Le câble doit 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.

#### A2.3 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:

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

- 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  $\Delta f_i$ .

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

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 of Sub-clauses A2.2 and A2.3 may not necessarily reveal the irregularities along the complete length of the cable under test.

#### A2.2 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 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  $\mu$ s to 0.2  $\mu$ s. 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.

#### A2.3 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 homogeneous 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) 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 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  $\Delta f_i$ .

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

- 4) Statistiquement, la valeur de la moyenne quadratique pour la moyenne des variations de la grandeur mesurée  $\Delta f$  est donnée par:

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

où:

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

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  $\approx 1$ , 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.

#### A2.4 Méthode par balayage de fréquence (uniformité de $Z_0$ )

##### A2.4.1 Généralités

Cette procédure décrit une méthode de balayage pour la détermination de l'uniformité d'impédance donnant une indication continue dans toute une bande de fréquences.

La méthode repose fondamentalement sur la mesure des amplitudes des ondes incidentes et réfléchies à l'entrée du câble, au moyen d'un réflectomètre combiné avec un quotientmètre et, par ce moyen, on obtient le coefficient de réflexion ou le taux d'ondes stationnaires (t.o.s.). Les équipements et accessoires possibles admettent une latitude considérable d'erreurs de mesure et la sélection de l'équipement devra être faite avec discernement afin de procurer une précision suffisante pour le but poursuivi.

##### A2.4.2 Spécifications

- La longueur du câble, la bande de fréquences d'essai, le t.o.s. admissible doivent être indiqués dans la spécification particulière.
- Les connecteurs utilisés doivent être indiqués dans la spécification particulière ou, dans le cas où aucun connecteur ne serait spécifié, on utilise la meilleure qualité de connecteur possible, afin de minimiser l'influence de ce connecteur sur les mesures.

##### A2.4.3 Précision

Pour la détermination de l'erreur de mesure du système, une mesure par balayage dans la bande de fréquences considérée, avec l'échantillon remplacé par le déséquilibre étalon (voir figure A6, page 75) doit être utilisée.

##### A2.4.4 Equipement

- Une disposition convenable pour le montage de l'équipement est donnée sur la figure A6.

*Note.* — L'isolateur ou atténuateur fixe, bien que n'étant pas essentiel, devrait toutefois être utilisé pour diminuer les effets des variations d'impédance sur le générateur à fréquence radioélectrique. Le circuit peut être simplifié pour autant qu'une précision suffisante puisse être obtenue dans tous les cas.



- 4) Statistically, the value of the r.m.s. value of the mean variation of the measured values of  $\Delta f$  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  $\approx 1$ , the margin of error between the evaluation of the measurements according to equation 6) and the exact evaluation according to equation 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. The accuracy depends only on the accuracy of the frequency measurement and the accuracy of adjustment of the resonant frequency.

#### A2.4 Sweep frequency method (uniformity of $Z_e$ )

##### A2.4.1 General

This procedure describes a sweep-frequency method for determining the uniformity of impedance, obtaining a continuous indication over a band of frequencies.

Fundamentally, the method involves measuring the amplitudes of incident and reflected waves at the cable input by means of a reflectometer, and combining these in a ratiometer, thereby obtaining reflection coefficient or voltage standing wave ratio (v.s.w.r.). The equipment and accessories available allow considerable latitude in measurement error and the selection of equipment must be chosen discriminately to provide sufficient accuracy for the application.

##### A2.4.2 Specifications

- The cable length, test frequency bands, and v.s.w.r. specification shall be as specified in the detail specification.
- The connectors used shall be as specified in the governing specification or in the case of no specified connector, the best quality connector available in order to minimize connector influence on the measurement.

##### A2.4.3 Accuracy

In order to determine the measurement system error, a comparative test in the frequency band of interest in which the test specimen has been replaced by a calibrated mismatch (see Figure A6, page 75) may be accepted.

##### 2.4.4 Equipment

- A suitable arrangement for the equipment set-up is given in Figure A6.

*Note.* — The isolator or pad, although not essential, should preferably be used in order to minimize varying impedance effects on the r.f. generator. The circuit may, however, be still further simplified as long as sufficient over-all accuracy is obtained.

b) *Générateur r.f. à balayage*

Le générateur à fréquences radioélectriques doit fournir une puissance de sortie suffisante pour que le quotientmètre puisse opérer avec le niveau de signal nécessaire dans toute la bande de fréquences à balayer. Le signal à fréquence radioélectrique peut être modulé.

La vitesse de balayage doit être suffisamment lente pour permettre à l'enregistreur de reproduire fidèlement les valeurs de pointe.

c) *Fréquencemètre*

Le fréquencemètre est introduit pour déterminer avec une précision suffisante les fréquences présentant de l'intérêt telles que les limites de bande.

d) *Filtre passe bas*

Le filtre passe bas est désirable pour éliminer les fréquences harmoniques parasites sur le réflectomètre.

e) *Réflectomètre*

Le réflectomètre peut se présenter sous la forme d'un pont, d'un système différentiel ou d'un coupleur directionnel et comprend souvent les détecteurs alimentant les sorties à fréquences vocales, lorsqu'un signal à fréquence radioélectrique modulé est utilisé. La directivité doit être au moins égale à 35 dB pour satisfaire aux conditions de précision requises.

f) *Quotientmètre*

Le quotientmètre doit remplir sa fonction dans toute la gamme des niveaux de signal délivré par le générateur r.f. (voir point d)). Le taux de réflexion doit être indépendant du niveau du signal dans toute la gamme de niveaux rencontrée.

g) *Enregistreur*

L'enregistreur doit avoir une inertie suffisamment petite pour suivre fidèlement le réflectomètre à la vitesse de balayage utilisée et doit être convenablement synchronisé avec le générateur à fréquence radioélectrique à balayage et étalonné. Un oscilloscope peut, si on le désire, être utilisé à la place ou en supplément de l'enregistreur, et, s'il est prévu, il doit être convenablement synchronisé avec le générateur r.f. à balayage et étalonné.

h) *Terminaison*

La terminaison doit avoir un r.o.s. aussi bas que possible, au moins d'une qualité telle dans la bande de mesure que les conditions requises pour la précision entière soient tenues. Une terminaison glissante est hautement souhaitable pour accroître la précision à une fréquence particulière.

i) *Déséquilibre étalon*

Le déséquilibre étalon doit être une terminaison ayant un déséquilibre approprié, d'étalonnage connu, de préférence de valeur similaire au niveau de coefficient mesurable dans le quotientmètre.

#### A2.5 *Mesure à plusieurs fréquences fixées (uniformité de $Z_e$ )*

L'uniformité de l'impédance est contrôlée en effectuant des mesures à vingt fréquences différentes choisies dans une bande de 1 000 MHz comprise entre 2 300 MHz 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 vingt 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 la spécification particulière.

b) *Sweep r.f. generator*

The r.f. generator must supply sufficient output to operate the ratiometer within its signal level requirement over the frequency band to be swept. The r.f. signal may be modulated.

The sweep rate must be slow enough to allow the Strip Chart Recorder to reproduce the peak values faithfully.

c) *Frequency meter*

The frequency meter is included to determine with sufficient accuracy the frequencies of interest, such as band limits.

d) *Low-pass filter*

The low-pass filter is desirable in order to eliminate spurious harmonic frequencies from the reflectometer.

e) *Reflectometer*

The reflectometer may be in the form of a bridge, a hybrid, or a directional coupler, and often includes detectors which supply audio outputs when a modulated r.f. signal is used. Directivity must be at least equal to 35 dB to satisfy the required accuracy.

f) *Ratiometer*

The ratiometer must perform its function over the range of signal levels delivered by the r.f. generator (see Item d)). The indicated reflection must be independent of signal level over the range of levels encountered.

g) *Strip chart recorder*

The strip chart recorder must have low enough inertia to follow the reflectometer faithfully at the sweep rate used and must be appropriately synchronized to the sweep r.f. generator and calibrated. An oscilloscope may be used instead of or in addition to the recorder, if desired, and, if provided, should be appropriately synchronized to the sweep r.f. generator and calibrated.

h) *Termination*

The termination shall be of as low v.s.w.r. as possible, at least of such quality in the measurement band that the requirements for the over-all accuracy are met. A sliding termination is highly desirable to increase accuracy at any single frequency point.

i) *Calibrated mismatch*

The calibrated mismatch shall be a purposely mismatched termination of known calibration, preferably of value similar to the level of reflection coefficient level in the ratiometer.

A2.5 *Measurement at several fixed frequencies (uniformity of  $Z_e$ )*

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

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 twenty values of  $Z_e$  and the root mean square deviations of these values about the mean are calculated. The detail specification specifies the limits on these quantities.

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 court-circuit plongeur à piston 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'essai 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.

### A3. Essai de décharge (corona)

#### A3.1 Autre méthode que celle spécifiée à l'article 11

A3.1.1 Les échantillons d'essai d'une longueur approximative de 1 m, non compris les extrémités dépouillées, doivent être terminés de telle sorte qu'aucune décharge ne puisse se produire aux extrémités lorsque la tension alternative d'essai est appliquée.

A3.1.2 Les échantillons doivent être essayés dans un circuit sans décharge, comprenant un circuit accordé, détecteur de décharges, combiné avec un amplificateur à bande passante et un oscilloscope capable de résoudre 25 décharges par quadrant d'une tension à 50 Hz. La sensibilité doit être telle qu'une simple décharge de 1 pC observée aux bornes de la pièce en essai puisse être détectée (voir paragraphe A3.1.5).

A3.1.3 La tension d'essai doit avoir une fréquence comprise entre 40 Hz et 60 Hz et une forme d'ondes à peu près sinusoïdale. Avant de connecter les échantillons, on s'assure 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.

A3.1.4 La tension d'essai est progressivement augmentée jusqu'à ce que des décharges récurrentes soient observées. Dans le but de déterminer la «tension d'extinction» on abaisse graduellement la tension jusqu'à ce qu'aucune décharge n'apparaisse plus et la valeur de cette tension sera enregistrée. Cet essai doit être effectué sur trois échantillons; la tension d'extinction la moins élevée ne doit pas être inférieure à la valeur spécifiée pour le câble correspondant.

A3.1.5 La sensibilité du détecteur doit 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 échelon vertical, c'est-à-dire que le temps de montée doit 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 doit être long comparé au temps de réponse de l'équipement. L'impulsion de l'étalonnage devra être injectée dans l'échantillon comme il est indiquée par la figure A1, page 52. Le circuit pour le générateur pour l'étalonnage des détecteurs de décharges est donné dans la figure A4, page 58.

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.

### A3. Discharge test (corona test)

#### A3.1 *Alternative method to that specified in Clause 11*

A3.1.1 Test pieces of approximately 1 m 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.

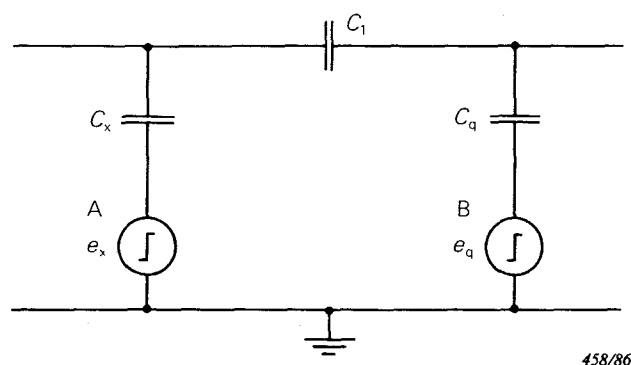
A3.1.2 Samples shall be tested in a discharge-free circuit, incorporating a tuned circuit discharge detector, with a bandpass amplifier and oscilloscope capable of resolving 25 discharges per quadrant of 50 Hz voltage. The sensitivity shall be such that single discharges of 1 pC, observed at the terminals of the test piece, can be detected (see Sub-clause A3.1.5).

A3.1.3 The test voltage shall have a frequency of between 40 Hz and 60 Hz 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.

A3.1.4 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 at 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.

A3.1.5 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 A1, page 53. The circuit for a generator for calibration of discharge detectors is shown in Figure A4, page 59.





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

FIG. A1. — Principe de l'étalonnage.

### A3.2 Etalonnage de l'équipement d'essai

A3.2.1 Le condensateur de décharge peut être représenté par le circuit équivalent montré dans les figures A2a et A2b, page 54. Quand une décharge apparaît en  $C_c$  (figure A2a), une brusque variation de tension  $\delta V_x = q/C_x$  apparaît aux bornes de  $C_x$ . Cela peut être représenté comme dans la figure A2b 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 A2c, page 54, en injectant une tension d'impulsion unidirectionnelle ( $\delta V_x$ ) aux bornes de  $C_0$  en série avec  $C_x$  ( $C_0 \gg C_x$ ).

L'amplitude  $q$  des décharges dans l'échantillon  $C_x$  peut alors être calculée, si  $\delta V_x$  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  $\delta V_x$  est injectée comme dans la figure A3, page 54, l'amplitude de la décharge  $q$  dans la capacité  $C_x$  est donnée par:

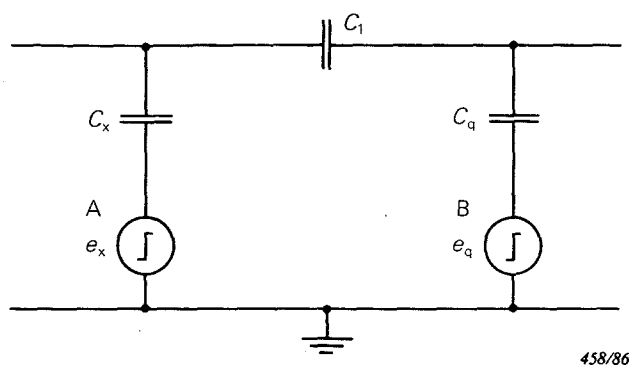
$$q = \delta V_x \cdot C_q \left( 1 + \frac{C_x}{C_4} \right)$$

où:

- $q$  = amplitude de la décharge, en picocoulombs
- $\delta V_x$  = impulsion d'étalonnage, en volts
- $C_x$  = capacité de l'échantillon, en picofarads
- $C_q$  = valeur du condensateur de couplage, en picofarads
- $C_4$  = valeur du condensateur de blocage, en picofarads

A3.2.2 Un schéma convenable pour un générateur d'impulsions avec atténuateur est donné par la figure A4, page 58. Pour la plupart des utilisations, un simple atténuateur précis à  $\pm 10$  dB près sera suffisant. Une tolérance de 5% sur les composantes de l'atténuateur est alors acceptable.





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

FIG. A1. — Principles of calibration.

### A3.2 Calibration of test equipment

A3.2.1 The discharging capacitor can be represented by the equivalent circuits shown in Figures A2a and A2b, page 55. When a discharge occurs in  $C_c$  (Figure A2a), a sudden change of voltage,  $\delta V_x = q/C_x$  occurs across  $C_x$ . This may be represented as in Figure A2b by capacitor  $C_x$  in series with a low impedance pulse generator. Calibration may thus be effected as in Figure A2c, page 55, by injecting a unidirectional voltage pulse ( $\delta V_x$ ) across  $C_0$  in series with  $C_x$  ( $C_0 \gg C_x$ ).

The magnitude  $q$  of discharges in the specimen  $C_x$  can then be calculated if  $\delta V_x$  is adjusted to give the same amplitude indication on the detector as discharges from the specimen being tested.

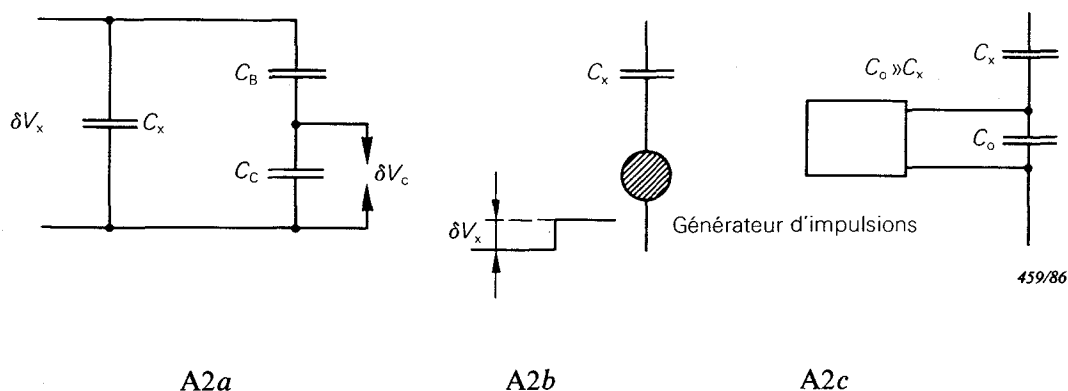
If the calibrating pulse  $\delta V_x$  is injected as in Figure A3, page 55, the discharge magnitude  $q$  in capacitor  $C_x$  is given by:

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

where:

- $q$  = the magnitude of the discharge, in picocoulombs
- $\delta V_x$  = the calibrating pulse, in volts
- $C_x$  = the 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

A3.2.2 A suitable circuit for a pulse generator with attenuator is shown in Figure A4, page 59. For many purposes, a simpler attenuator, accurate to  $\pm 10$  dB, will be sufficient. A 5% tolerance on components in the attenuator will then be permissible.



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

où:

- $q$  = amplitude de la décharge, en picocoulombs
- $C_x$  = capacité de l'échantillon, en picofarads
- $\delta V_x$  = variation de la tension aux bornes de  $C_x$ , en volts
- $\delta V_c$  = variation de la tension aux bornes de  $C_c$ , en volts

FIG. A2. — Circuits équivalents pour étalonnage des décharges.

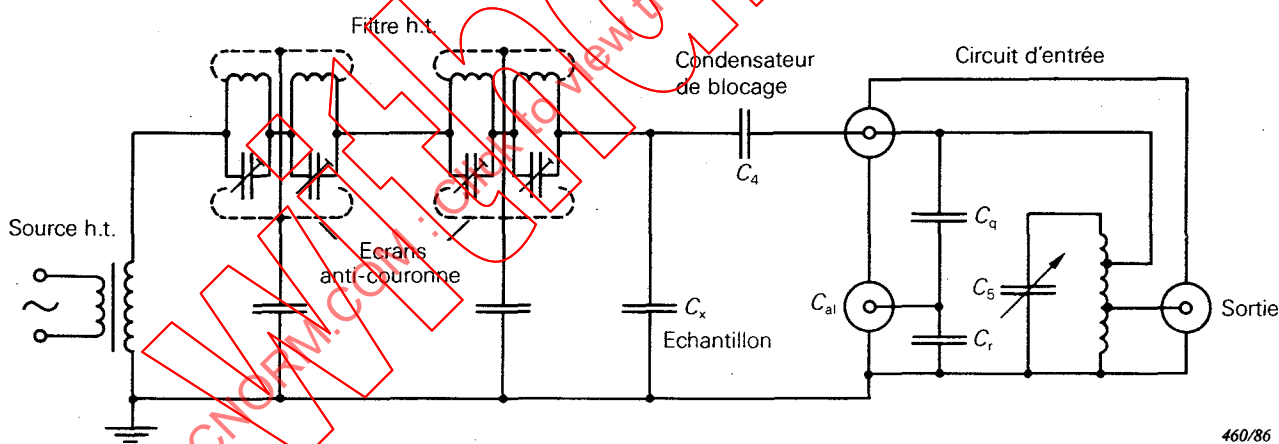
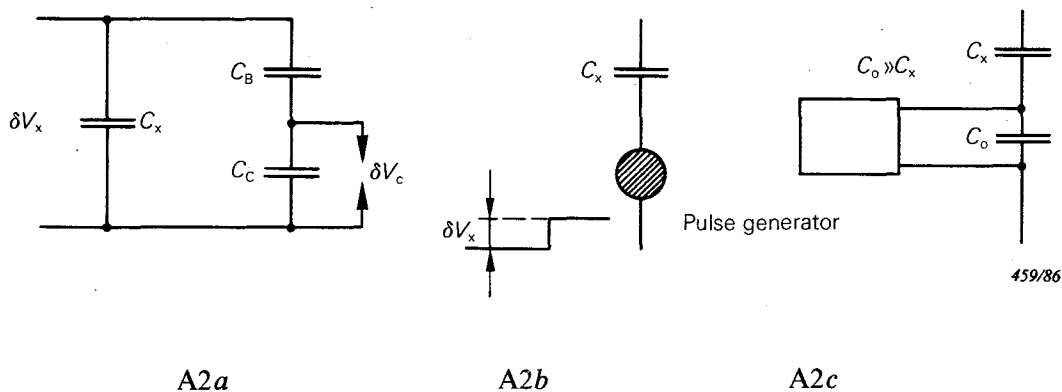


FIG. A3. — Circuit d'essai.

### A3.3 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 A7, page 76 (les dimensions non 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 ne s'insère entre le conducteur intérieur et le diélectrique.



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

where:

- $q$  = the magnitude of the discharge, in picocoulombs
- $C_x$  = the capacitance of the specimen, in picofarads
- $\delta V_x$  = the change in voltage across  $C_x$ , in volts
- $\delta V_c$  = the change in voltage across  $C_c$ , in volts

FIG. A2. — Equivalent circuits for discharge calibration.

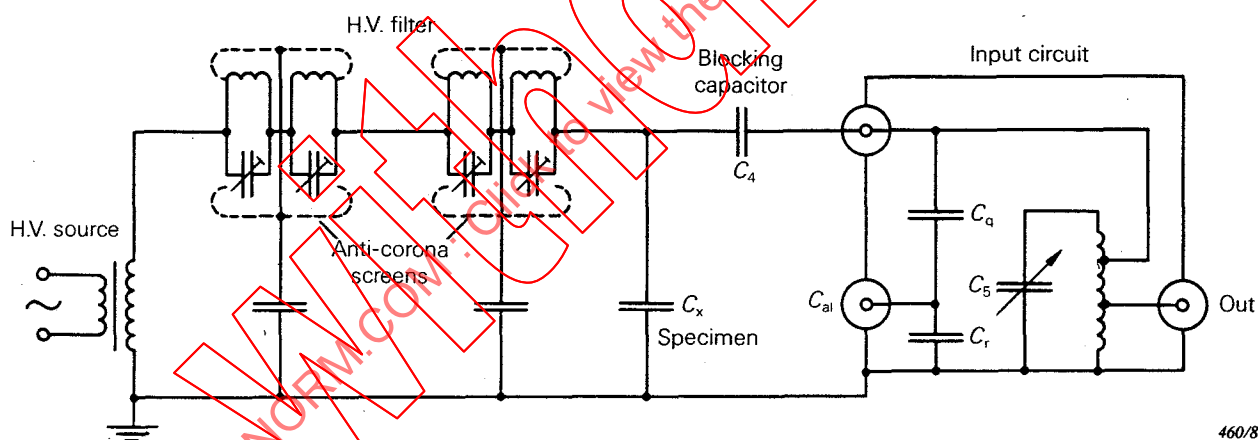


FIG. A3. — Test circuit.

### A3.3 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 A7, page 77 (dimensions not given are not critical). The graphite extension of the outer conductor permits immersion of the ends in a dielectric liquid without the latter 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'éthyle 10%, en volume. La résistance de la couche de graphite entre la tresse du câble et l'anneau de fil terminal, avant qu'ils soient raccordés entre eux, doit être inférieure à 200  $\Omega$ . 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 se produisant à l'intérieur du 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 liquide diélectrique convenable dans lequel le polyéthylène et ses plastifiants sont inertes peut être utilisé.

#### A4. Affaiblissement

##### A4.1 Mesures combinées avec celle de l'impédance caractéristique

##### A4.1.1 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 au paragraphe A1.1 de cette annexe.

Les appareils utilisés pour mesurer  $Z_m$  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:

$v$  = vitesse de propagation dans le câble, en mètres par seconde  
 $f_1$  et  $f_2$  = fréquences de mesure, en hertz

*Note.* — 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 devra être ouvert, court-circuité ou terminé par une ligne auxiliaire avec un piston de court-circuit mobile.

##### A4.1.2 Affaiblissement à 3 000 MHz

La dimension du cercle d'admittance tracé comme il est décrit pour la mesure de  $Z_e$  est une mesure de l'affaiblissement du câble. L'affaiblissement pouvant être mesuré par cette méthode doit être compris entre 3 dB 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.

This coating is formed by painting or spraying with a suspension of colloidal graphite in acetone. Commercial suspensions containing about 18% solid carbon should be diluted by adding one part of the suspension to two parts by volume of a liquid of composition, acetone 50%, diacetone alcohol 40% and ethyl lactate 10% by volume. The resistance of the graphite film between the cable braid and the terminating wire ring, before they are connected together, should be less than 200  $\Omega$ . 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.

#### A4. Attenuation

##### A4.1 *Measurements combined with the measurement of characteristic impedance*

###### A4.1.1 *Attenuation at 200 MHz*

The undermentioned method is carried out in combination with the measurement of characteristic impedance as described in Sub-clause A1.1 of this appendix.

The apparatus used for measuring  $Z_m$  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:

$v$  = the wave velocity in the cable, in metres per second  
 $f_1$  and  $f_2$  = measuring frequencies, in hertz

*Note.* — 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 this series of measurements, it is possible to determine the cable attenuation independently of the loss of the resonant line.

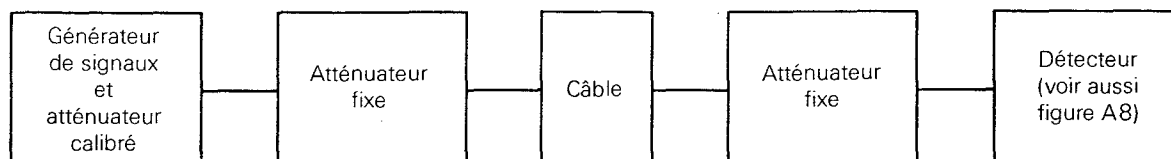
For these measurements the cable sample should be open, short-circuited or terminated in an auxiliary line with a movable short-circuiting plunger.

###### A4.1.2 *Attenuation at 3 000 MHz*

The size of the admittance circle plotted, as described for the measurement of  $Z_e$  is a measure of the cable attenuation. The attenuation to be measured by this method should be between 3 dB 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 minimize mismatch effects.

## A4.2 Mesures séparées

## A4.2.1 Méthode par substitution



461/86

FIGURE A4

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:

$$20 \log_{10} \left( \frac{1}{1 - |\Gamma|^2} \right) \approx 8,686 |\Gamma|^2 \text{ dB}$$

où:

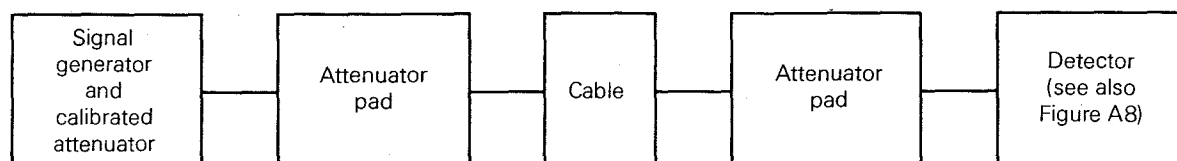
$$|\Gamma| = \left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right| = \text{grandeur absolue du coefficient de réflexion de tension}$$

$Z_0$  = impédance caractéristique du câble en essai

$Z$  = impédance caractéristique des atténuateurs fixes

Le rapport  $\frac{Z}{Z_0}$  doit être compris entre 0,5 et 2.



A4.2 *Separate measurements*A4.2.1 *Substitution method*

461/86

FIGURE A4

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:

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right| = \text{the absolute magnitude of the voltage reflection coefficient}$$

$Z_0$  = the characteristic impedance of the cable under test

$Z$  = the characteristic impedance of the attenuator pads

The ratio of  $\frac{Z}{Z_0}$  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.

#### A4.2.2 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 dB et 10 dB.

Le taux d'ondes stationnaires (t.o.s.) 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:

$$\alpha = \frac{10}{l} \log_{10} \frac{r+1}{r-1}$$

où:

$\alpha$  = atténuation, en décibels par mètre

$l$  = longueur, en mètres, du câble en essai

#### A4.2.3 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 t.o.s. 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  $\frac{\lambda}{16}$ .

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:

$\alpha$  = affaiblissement, en décibels, calculé d'après la formule (1)

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

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

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

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.

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.

#### A4.2.2 Calculation from voltage standing wave ratio

This method is only suitable for cable samples with an attenuation between 3 dB 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:

$$\alpha = \frac{10}{l} \log_{10} \frac{r+1}{r-1}$$

where:

$\alpha$  = attenuation, in decibels per metre

$l$  = length of cable under test, in metres

#### A4.2.3 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 location 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 of the Smith diagram, necessary for the graphic determination of the scattering matrix elements  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ , is produced according to the Deschamp method.

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 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:

$\alpha$  = the attenuation, in decibels, calculated according to the formula (1)

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

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

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

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.

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.

## A5. Efficacité d'écran

### A5.1 Généralités

L'efficacité d'écran d'un câble pour fréquences radioélectriques dépend de la protection apportée par cet écran, tant contre les courants induits que contre les tensions induites.

L'efficacité d'écran contre les courants induits par suite des couplages résistifs et magnétiques est définie en termes d'impédance de transfert par unité de longueur et en termes d'admittance de transfert par unité de longueur contre les tensions induites par suite des couplages électriques (voir note ci-dessous). L'impédance de transfert est définie dans une longueur élémentaire du câble comme le rapport de la tension mesurée sur l'écran dans le système perturbé au courant traversant le système perturbateur. Cela peut être intéressant aux fréquences jusqu'à 10 000 MHz. En général, il n'y a pas de problème quand des écrans cylindriques homogènes sont utilisés puisque l'effet d'écran dans de tels cas peut être aisément calculé, mais lorsqu'une tresse ou un ruban sont utilisés, il devient nécessaire de mesurer l'efficacité d'écran. Dans l'état actuel, l'expérience montre que l'impédance de transfert de surface demeure constante aux fréquences comprises entre 0 Hz et 0,1 MHz ou 1 MHz suivant le type de câble et est égale à la résistance en courant continu de cette tresse. Aux fréquences au-dessus de 0,1 MHz ou 1 MHz, l'impédance de transfert croît. Suivant la construction de l'écran, cet accroissement augmente directement ou après avoir passé par un minimum.

Au-dessus de 10 MHz à 15 MHz, cet accroissement est proportionnel à la fréquence.

L'admittance de transfert est définie dans une longueur élémentaire de câble comme le rapport du courant traversant le système perturbé à la tension originelle dans le système perturbateur spécifié. Les mesures montrent que l'admittance de transfert peut être représentée par une capacitance qui est indépendante de la fréquence pour les fréquences audibles et jusqu'à 1 000 MHz au moins.

*Note.* — L'attention est attirée sur le fait qu'au Royaume-Uni le terme «admittance de transfert» est considéré comme la réciproque de «l'impédance de transfert», ce qui n'est pas le cas dans la présente norme.

### A5.2 Impédance de transfert due aux couplages résistifs et magnétiques

#### A5.2.1 Appareillage d'essai

L'appareillage est de la forme «triple coaxial» (voir figure A9, page 80). Une courte longueur de l'écran cylindrique en essai forme le conducteur intérieur d'un système coaxial perturbateur et en même temps le conducteur extérieur d'une autre ligne coaxiale. Le signal apparaissant dans le système coaxial intérieur est dû à l'impédance de transfert de surface de l'écran.

Le câble avec l'écran à mesurer est terminé à une extrémité par une résistance de valeur numériquement égale à l'impédance caractéristique du câble. La résistance terminale est blindée par un manchon métallique dont le bord à l'extrémité ouverte est soudé à l'écran. La résistance terminale et le câble sont coaxialement montés à l'intérieur d'un tube métallique. Ce tube est terminé au côté opposé à la résistance par un disque de court-circuit qui est soudé à l'écran (voir figure A9).

La longueur du morceau de câble dans le tube métallique ne doit pas excéder  $0,1 \lambda$  à  $0,35 \lambda$  suivant l'équipement de mesure utilisé. La longueur du câble hors du système est sans conséquence.

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.

## A5. Screening efficiency

### A5.1 General

The screening efficiency of a radio frequency cable depends both on the screening against currents and the screening against voltages.

The screening efficiency against currents is specified in terms of the transfer impedance due to resistive and magnetic coupling per unit length, against voltages in terms of the transfer admittance due to electric coupling (see Note below) per unit length. Transfer impedance is defined in an elementary length of cable as the ratio of the voltage measured along the screen in the disturbed system to the current flowing in the interfering system. This may be of interest at any frequency up to 10 000 MHz. 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. The present state of experience shows that the surface transfer impedance remains constant at frequencies from 0 Hz to 0.1 MHz or 1 MHz, depending on the type of cable and is equal to the direct current resistance of the screen. At frequencies over 0.1 MHz or 1 MHz the transfer impedance increases. Depending on the construction of the screen, this increase starts directly or after having passed through a minimum.

Over 10 MHz to 15 MHz, the increase is proportional to the frequency.

Transfer admittance is defined in an elementary length of cable as the ratio of the current flowing into the disturbed system to the voltage originating it in the specified interfering system. Measurements show that the transfer admittance may be represented by a capacitance which is independent of frequency from audio frequencies up to 1 000 MHz at least.

*Note.* — Attention is drawn to the fact that in the United Kingdom the term “transfer admittance” is taken to be the reciprocal of “transfer impedance” which is not the case in this standard.

### A5.2 Transfer impedance due to resistive and magnetic coupling

#### A5.2.1 Test apparatus

The apparatus is of the “triple coaxial” form (see Figure A9, page 80). 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 caused by the surface transfer impedance of the screen.

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 A9).

The length of the cable piece in the metal tube is not to exceed  $0.1 \lambda$  to  $0.35 \lambda$  according to the measuring equipment used. The length of the projecting cable is of no consequence.



### A5.2.2 Procédure d'essai

Le système coaxial extérieur formé par l'écran en essai et le tube métallique est alimenté par un générateur à travers une résistance d'interconnexion (méthode 1) ou bien directement (méthode 2).

La mesure doit être effectuée à 30 MHz.

*Note.* — Pour les deux méthodes, une longueur de câble de 1 m est convenable dans la majorité des cas. Le facteur de correction à 30 MHz est approximativement 1.

#### Méthode 1: Alimentation à travers une résistance

Le générateur alimente le système extérieur à travers une résistance pure ( $R$ ) dont la valeur la mieux appropriée est égale à environ 1,4 fois la valeur de l'impédance caractéristique du système extérieur. La tension d'entrée à la résistance est mesurée à l'aide d'un voltmètre approprié. La tension de sortie du système intérieur, qui est formé par le câble lui-même, est mesurée à l'aide d'un voltmètre adapté.

L'impédance de transfert peut alors être calculée d'après l'équation:

$$|Z_T| = \frac{2R}{l} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot F'$$

où:

$Z_T$  = impédance de transfert, en ohms par mètre

$R$  = résistance d'alimentation, en ohms

$l$  = longueur de l'écran sous essai, en mètres (voir figure A9, page 80)

$U_1$  = tension d'entrée, en volts, dans le système extérieur, mesurée avant la résistance  $R$

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

$F'$  = un facteur qui tient compte de la réponse en fréquence (voir figure A13, page 82). Sa valeur exacte peut être calculée par la relation:

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

où:

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

$Z_1$  = impédance caractéristique, en ohms, du système extérieur

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

$\lambda_1$  = longueur d'onde électrique dans le système extérieur

$\lambda_2$  = longueur d'onde électrique dans le système intérieur

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

#### Méthode 2: Alimentation directe

Le générateur alimente le système extérieur directement. La tension d'entrée de ce système est mesurée au commencement de l'écran. La tension de sortie du système intérieur est mesurée comme indiqué ci-dessus.

Cette méthode est préférable lorsqu'il est nécessaire d'opérer avec des tensions d'entrée élevées comme, par exemple, avec des écrans de haute efficacité ou avec des voltmètres de sortie peu sensibles. Avec cette méthode, on peut utiliser des fréquences plus élevées qu'avec la première méthode.

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

$$|Z_T| = 2Z_1 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot F''$$

La correspondance des facteurs de l'équation est la même que précédemment.



### A5.2.2 Test procedure

The outer coaxial system formed by the screen under investigation and the metal tube is fed from a generator through an interconnected resistance (Method 1) or by way of a direct connection (Method 2).

The measurement shall be carried out at 30 MHz.

*Note.* — For both methods a cable length of 1 m is mostly adequate. The correction factor at 30 MHz is approximately 1.

#### Method 1: Feeding through a resistance

The generator feeds the outer system through a pure resistance ( $R$ ) which, to best advantage, should be equal to about 1.4 times the value of the characteristic impedance of the outer system. The input voltage to the resistance is measured by means of a suitable voltmeter. The output voltage of the inner system, which is formed by the cable proper, is measured by means of a matched voltmeter.

The transfer impedance may then be calculated from the equation:

$$|Z_T| = \frac{2R}{l} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot F'$$

where:

$Z_T$  = the transfer impedance, in ohms per metre

$R$  = the feeding resistance, in ohms

$l$  = the length of the screen under test, in metres (see Figure A9, page 80)

$U_1$  = the input voltage of the outer system measured before the resistance  $R$ , in volts

$U_2$  = the output voltage of the inner system measured at the end of the screen, in volts

$F'$  = a factor, which allows for the frequency response (see Figure A13, page 82). The exact value can be calculated from the relation:

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

where:

$m = Z_1/R$  the ratio of the characteristic impedance of the outer system to the resistance  $R$

$Z_1$  = the characteristic impedance of the outer system, in ohms

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

$\lambda_1$  = the electrical wavelength in the outer system

$\lambda_2$  = the electrical wavelength in the inner system

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

#### Method 2: Direct feeding

The transmitter feeds the outer system directly. The input voltage of this system is measured at the beginning of the screen. The output voltage of the inner system is measured as indicated above.

This method is preferable if it is necessary to operate at greater input voltages, as for instance with screens of a very high screening efficiency or with less sensitive output voltmeters. For this method, higher frequencies may be used than for the first method.

The surface transfer impedance may be calculated from the equation:

$$|Z_T| = 2 Z_1 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot F''$$

The designations of the equation have the same meaning as indicated above.

$F''$  (voir figure A14, page 83) peut être calculé par la relation:

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

avec les mêmes notations que précédemment.

Au lieu de mesurer  $U_1$  et  $U_2$  séparément, le rapport  $U_1/U_2$  peut, en utilisant l'une ou l'autre des méthodes, être obtenu directement à l'aide d'un atténuateur étalonné.

### A5.2.3 Conditions requises

Le maximum de la valeur de l'impédance de transfert doit être indiqué dans la spécification particulière.

### A5.3 Admittance de transfert due au couplage électrique

#### Méthode 1: Mesure des tensions

#### A5.3.1 Appareillage d'essai

L'appareillage est de la forme «quadruple coaxial» (voir figure A10, page 80). Une courte longueur de l'écran cylindrique sous essai forme le conducteur extérieur du système coaxial intérieur et, en même temps, le conducteur intérieur d'un système coaxial perturbateur. Le conducteur extérieur du système perturbateur est formé par un tube massif d'un diamètre tel que l'impédance caractéristique du système extérieur soit approximativement la même que celle du système intérieur, c'est-à-dire l'impédance caractéristique du câble dont l'écran est sous essai.

Le signal apparaissant dans le système coaxial intérieur est causé par l'admittance de transfert.

Le système «triple coaxial» est entouré par un écran destiné à éviter les radiations d'énergie en dehors du système et ne doit pas être pris en compte dans la définition de l'impédance caractéristique.

Le câble avec l'écran à mesurer est terminé à une extrémité par une résistance dont la valeur est numériquement égale à l'impédance caractéristique du câble. La résistance terminale est blindée par un manchon métallique dont l'extrémité ouverte est soudée à l'écran. La résistance terminale et le câble sont coaxialement montés dans un tube métallique qui est en circuit ouvert à l'extrémité opposée à la résistance. L'ensemble est entouré par le circuit d'écran qui est court-circuité à son extrémité (voir figure A10).

#### A5.3.2 Procédure d'essai

Le système extérieur coaxial est alimenté directement par le générateur. Le système coaxial intérieur est connecté directement au voltmètre adapté.

La fréquence d'essai doit être choisie de telle sorte que la longueur électrique de la partie du câble dans le tube métallique n'excède pas  $0,03 \lambda$ . La longueur du câble hors du système est sans conséquence.

L'admittance de transfert à 30 MHz peut être calculée d'après l'équation:

$$|Y_T| = \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \cdot \frac{2}{Z_2 \cdot l} \cdot \frac{f_0}{f_m}$$

où:

$Y_T$  = admittance de transfert, en siemens par mètre, à 30 MHz

$U_1$  = tension d'entrée, en volts, du système extérieur

$U_2$  = tension de sortie, en volts, du système intérieur

$Z_2$  = impédance caractéristique du câble sous essai

$f_m$  = fréquence de mesure, en mégahertz

$f_0$  = 30 MHz

$l$  = longueur de l'écran, en mètres

$F''$  (see Figure A14, page 83) may be calculated from the relation:

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

with the same abbreviations as above.

Instead of measuring  $U_1$  and  $U_2$  separately, the ratio  $U_1/U_2$  may, using either method, be ascertained directly by means of a calibrated attenuator.

### A5.2.3 Requirement

The maximum value for transfer impedance shall be given in the detail specification.

## A5.3 Transfer admittance due to electric coupling

### Method 1: Voltage measurement

#### A5.3.1 Test apparatus

The apparatus is of the "quadruple coaxial" form (see Figure A10, page 80). A short length of the cylindrical screen under investigation forms both the outer conductor of the inner coaxial system and, at the same time, the inner conductor of an energized coaxial system. The outer conductor of the energized system is formed by a solid tube the diameter of which is such as to give approximately the same characteristic impedance in the outer system as in the inner system, i.e. the characteristic impedance of the cable with the screening under test.

The signal in the inner coaxial system is caused by the transfer admittance.

This "triple coaxial" system is surrounded by a screen to prevent the energy from radiating out of the system, and shall not be taken into account when defining the characteristic impedance.

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, which is open-circuited at the side opposite the resistance. The whole is enclosed by the screening circuit that is short-circuited at the end (see Figure A10).

#### A5.3.2 Test procedure

The outer coaxial system is fed directly from the generator. The inner coaxial system is connected directly to a matched voltmeter.

The test frequency shall be so chosen that the electrical length of the cable piece in the metal tube does not exceed  $0.03 \lambda$ . The length of the projecting cable is of no consequence.

Transfer admittance at 30 MHz may be calculated from the equation:

$$|Y_T| = \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \cdot \frac{2}{Z_2 \cdot l} \cdot \frac{f_0}{f_m}$$

where:

- $Y_T$  = the transfer admittance, in siemens per metre, at 30 MHz
- $U_1$  = the input voltage of the outer system, in volts
- $U_2$  = the output voltage of the inner system, in volts
- $Z_2$  = the characteristic impedance of the cable under test
- $f_m$  = the measuring frequency, in megahertz
- $f_0$  = 30 MHz
- $l$  = the length of the screen, in metres

## Méthode 2: mesure de capacité directe

### A5.3.3 Appareillage d'essai

L'appareillage est de la forme «triple coaxial» (voir figure A11, page 81). Le conducteur intérieur du câble avec l'écran sous essai est mis sous écran à une extrémité au moyen d'un capuchon métallique connecté à l'écran. Le câble est monté coaxialement à l'intérieur d'un tube métallique. Ce tube est ouvert à l'extrémité opposée au capuchon métallique. Le diamètre de ce tube métallique doit être tel que l'impédance caractéristique du système extérieur soit la même que celle du câble sous essai. L'écran sous essai doit être suffisamment long pour que les effets d'extrémités n'aient qu'une influence négligeable sur la précision de la mesure.

### A5.3.4 Procédure d'essai

Au moyen d'un point de capacité approprié (voir figure A12, page 81) la capacité est mesurée entre le conducteur intérieur du câble sous essai et le tube métallique, tandis que l'écran est connecté au milieu du pont. La fréquence d'essai doit être approximativement 1 000 Hz.

L'admittance de transfert peut être calculée à partir de l'équation:

$$|Y_T| = \frac{60 \pi C_T 10^{-6}}{l}$$

où:

$C_T$  = capacité directe, en picofarads

$l$  = longueur de l'écran sous essai, en mètres

$Y_T$  = admittance de transfert, en siemens par mètre, à 30 MHz

### A5.3.5 Conditions requises

La valeur maximale de l'admittance de transfert doit être donnée dans la spécification particulière.

## A5.4 Méthode d'essai triaxiale adaptée pour la mesure de l'impédance de transfert et de l'impédance de couplage capacitif jusqu'à 1 000 MHz

### A5.4.1 Dispositif d'essai

Le dispositif d'essai triaxial adapté est illustré schématiquement sur la figure A5, page 74, et consiste en deux systèmes coaxiaux adaptés par des transformateurs d'adaptation à chaque extrémité. Le système coaxial intérieur est l'échantillon de câble coaxial en essai. Le système extérieur est constitué par l'écran du câble et par un écran auxiliaire rigide ou souple tressé et disposé étroitement autour de la gaine du câble. Il est également possible d'harmoniser les vitesses de propagation des systèmes coaxiaux extérieur et intérieur en remplaçant la gaine du câble en essai par un tube de polystyrène, par exemple.

Les coffrets d'adaptation sont faits de matériau conducteur électrique. Pour ces sections de câble, de nombreux tores de ferrite (par exemple 70 tores par adaptateur) sont placés autour des extrémités du câble en essai afin de réduire au minimum le courant circulant sur la surface externe de l'échantillon en essai vers les extrémités des coffrets d'adaptation. Comme l'indique la figure A5, l'échantillon en essai est relié au dispositif d'adaptation au moyen d'un connecteur. En variante, les dispositifs d'adaptation peuvent être placés directement autour de l'échantillon qui est relié directement à la sortie  $U_2$  du coffret d'adaptation. La conception des dispositifs d'adaptation est réalisée de manière à rendre maximale l'impédance entre l'écran de l'échantillon de câble et le coffret d'adaptation dans la bande de fréquences considérée. La dimension des dispositifs d'adaptation et les caractéristiques des tores de ferrite déterminent la limite inférieure de fréquence du dispositif d'essai.

Le système coaxial extérieur est terminé à chaque extrémité par des résistances d'une valeur appropriée pour adapter la ligne coaxiale extérieure à l'équipement de mesure. La boucle

### *Method 2: Through capacitance measurement*

#### **A5.3.3 Test apparatus**

The apparatus is of the "triple coaxial" form (see Figure A11, page 81). The inner conductor of the cable with the screening under test is shielded at one end by means of a metal disk connected to the screen. The cable is coaxially mounted inside a metal tube. This tube is open ended at the side opposite the metal disk. The diameter of the metal tube shall be such as to give approximately the same characteristic impedance in the outer system as that of the cable under test. The screen under test shall be of sufficient length that end-effects will have only little influence on the accuracy of the measurement.

#### **A5.3.4 Test procedure**

By means of a suitable capacitance-bridge (see Figure A12, page 81) the capacitance is measured between the inner conductor of the cable under test and the metal tube, while the screen is connected to the middle of the bridge. The test frequency shall be approximately 1 000 Hz.

The transfer admittance may be calculated from the equation:

$$|Y_T| = \frac{60 \pi C_T 10^{-6}}{l}$$

where:

$C_T$  = the through capacitance, in picofarads

$l$  = the length of the screen under test, in metres

$Y_T$  = the transfer admittance, in siemens per metre at 30 MHz

#### **A5.3.5 Requirement**

The maximum value for transfer admittance shall be given in the detail specification.

### **A5.4 Terminated triaxial test method for measurements of transfer impedance and capacitive coupling impedance up to 1 000 MHz**

#### **A5.4.1 Test arrangement**

The terminated triaxial test arrangement is illustrated diagrammatically in Figure A5, page 74, and consists of two coaxial systems terminated with balun transformers at both ends. The inner coaxial system is the coaxial cable sample being tested. The outer system consists of the screen of the cable and of an auxiliary flexible and braided or solid screen placed tightly around the jacket of the cable. It is also possible to match the propagation velocities of the outer and inner coaxial systems by replacing the jacket of the cable under test with, for example, polystyrene tube.

The balun boxes are made of electrical conducting material. In these cable sections, many ferrite toroids, (e.g. 70 toroids per balun) are placed around the ends of the cable under test in order to minimize the current flow along the outer surface of the test sample towards the ends of the balun boxes. As shown in Figure A5, the test sample is attached to the balun section via a connector. Alternatively, the balun sections may be placed directly around the test sample which is connected directly to the  $U_2$  port of the balun box. The design of the balun sections has as its object the maximizing of the impedance between the screen of the cable sample and the balun box over the frequency range under consideration. The size of the balun sections and the characteristics of the ferrite toroids determine the lower frequency limit of the test arrangement.

The outer coaxial system is terminated at both ends with resistances of a suitable value to match the outer coaxial line together with the measuring equipment. The loop in the balun



dans le dispositif d'adaptation supprime la nécessité de couper de façon précise l'échantillon à une longueur donnée.

#### A5.4.2 Mesure de l'impédance de transfert $Z_T$

Les tensions  $U_1(l)$  et  $U_2(l)$  indiquées sur la figure A5 sont mesurées au moyen d'un voltmètre approprié. L'impédance de transfert peut alors être calculée à partir de l'équation (à condition que  $|Z_T| \gg |Z_F|$ ):

$$\left| Z_T \right| = \frac{2Z_{01}}{l} \left| \frac{U_2(l)}{U_1(l)} \right| F$$

où:

- $Z_T$  = impédance de transfert, en ohms par mètre
- $Z_{01}$  = résistance d'adaptation équivalente du système extérieur, en ohms
- $l$  = longueur de l'écran en essai, en mètres
- $U_1(l)$  = tension de sortie du système extérieur, en volts
- $U_2(l)$  = tension de sortie du système intérieur, en volts
- $F$  = un facteur qui tient compte de la réponse en fréquence

Sa valeur peut être calculée à partir de la relation:

$$F = \frac{l \sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\beta_1 - \beta_2)^2}}{\sqrt{(1 - e^{(\alpha_1 - \alpha_2)l})^2 \cos^2(\beta_1 - \beta_2) + (e^{(\alpha_1 - \alpha_2)l} \sin(\beta_1 - \beta_2))^2}}$$

où:

- $\alpha_1$  = affaiblissement du système extérieur, en népers par mètre
- $\alpha_2$  = affaiblissement du système intérieur, en népers par mètre
- $\beta_1$  = constante de phase du système extérieur, en radians par mètre
- $\beta_2$  = constante de phase du système intérieur, en radians par mètre

#### A5.4.3 Détermination des effets de l'impédance de couplage capacitif $Z_F$

L'impédance de couplage capacitif est directement proportionnelle à la fréquence. En raison de l'influence importante des réflexions dans le système extérieur sur les valeurs mesurées de  $Z_F$  aux hautes fréquences,  $Z_F$  doit être mesurée à une fréquence  $f_0$  où l'impédance de transfert est inductive (c'est-à-dire  $f_0 > 5$  MHz) et la longueur du système doit être telle que:

$$l \leq \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{20}$$

où  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  sont les longueurs d'ondes dans les systèmes extérieur et intérieur.

Les tensions  $U_2(0)$ ,  $U_2(l)$  et  $U_1(l)$  indiquées sur la figure A5, sont mesurées à l'aide d'un voltmètre approprié. L'impédance de couplage capacitif  $Z_{F0}$  à la fréquence  $f_0$  peut ensuite être calculée à partir de l'équation:

$$\left| Z_{F0} \right| = \left| \frac{|U_2(0)| \pm |U_2(l)|}{U_1(l)} \right| \frac{Z_{01}}{l}$$

où le signe  $-$  s'applique lorsque  $|Z_T| > |Z_F|$

et le signe  $+$  s'applique lorsque  $|Z_T| < |Z_F|$ .

La valeur de l'impédance de couplage capacitif peut ensuite être calculée pour toute fréquence à partir de l'équation:

$$\left| Z_F \right| = \frac{f}{f_0} \left| Z_{F0} \right|$$

La valeur de l'impédance de transfert peut donc être calculée à partir de l'équation (pour les fréquences  $> 5$  MHz):

$$\left| Z_T \right| = \left| 2 \left| \frac{U_2(l)}{U_1(l)} \right| \frac{Z_{01}}{l} F \pm |Z_F| \right| ,$$