

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD

Publication 60-4

Première édition — First edition

1977

Techniques des essais à haute tension

Quatrième partie: Guide d'application des dispositifs de mesure

High-voltage test techniques

Part 4: Application guide for measuring devices



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD

Publication 60-4

Première édition — First edition

1977

Techniques des essais à haute tension

Quatrième partie: Guide d'application des dispositifs de mesure

High-voltage test techniques

Part 4: Application guide for measuring devices



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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Prix
Price Fr. s. 77.-

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
INTRODUCTION	8
SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
SECTION DEUX – MESURE DES TENSIONS CONTINUES	
3. Généralités	8
4. Dispositifs de mesure de la valeur permanente des tensions continues	10
5. Dispositifs de mesure de la tension d'ondulation	10
6. Détermination des rapports de division de tension et des coefficients de conversion	12
7. Détermination de la réponse amplitude-fréquence d'un circuit de mesure	12
8. Sources d'erreurs possibles et précautions	12
SECTION TROIS – MESURE DES TENSIONS ALTERNATIVES	
9. Généralités	14
10. Dispositifs de mesure de l'amplitude des tensions alternatives	14
11. Dispositifs de mesure de l'amplitude des harmoniques	16
12. Détermination des rapports de division et des coefficients de conversion	16
13. Détermination de la réponse d'amplitude-fréquence d'un circuit de mesure	18
14. Sources d'erreurs possibles et précautions	18
SECTION QUATRE – MESURE DES TENSIONS DE CHOC	
15. Généralités	18
16. Constituants du circuit de mesure	20
16.1 Diviseur de tension	20
16.2 Conducteur à haute tension	20
16.3 Résistance d'amortissement	22
16.4 Oscillographe	22
16.5 Voltmètre de crête	22
16.6 Câble coaxial et dispositifs d'adaptation	24
16.7 Retours de terre	24
17. Détermination du rapport des diviseurs de tension et des coefficients de conversion	24
18. Réponse d'un circuit de mesure	26
19. Modalités expérimentales pour mesurer la réponse à l'échelon unité	28
20. Détermination des paramètres de réponse à partir des oscillogrammes de réponse à l'échelon	30
20.1 Détermination du point virtuel initial $0'$ et de l'amplitude unité	30
20.2 Détermination du temps de réponse T	30
20.3 Détermination du temps de distorsion initial T_0	32
20.4 Détermination du temps de réponse T_i du circuit sans conducteur haute tension	32
20.5 Détermination de la zone de résonance	34
20.6 Détermination du temps de réponse partiel T_α	34
21. Détermination des paramètres de réponse par la méthode de l'éclateur à sphères	34
21.1 Détermination du temps de réponse T	34
21.2 Détermination du temps de réponse partiel T_α ou T'_α	36
21.3 Détermination du temps de réponse T_i du circuit de mesure sans conducteur haute tension	36
21.4 Détermination de la zone de fréquence de résonance	38
22. Relation entre les paramètres de réponse et les erreurs de mesure	38
22.1 Erreurs causées par le temps de réponse T	38
22.2 Erreurs causées par le temps de réponse partiel T_α	40
22.3 Erreurs causées par le temps de distorsion initial T_0	40
23. Critères relatifs aux corrections	40
23.1 Conditions pour que les mesures soient suffisamment précises sans corrections	40
23.2 Conditions de corrections des mesures et limites d'application des corrections	42
23.3 Procédures lorsque les oscillations mesurées excèdent le niveau permis	46
24. Evaluation d'un circuit de mesure par la méthode de comparaison	46

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
INTRODUCTION	9
SECTION ONE – GENERAL	
Clause	
1. Scope	9
2. Object	9
SECTION TWO – MEASUREMENT OF DIRECT VOLTAGES	
3. General	9
4. Systems for measuring the steady-state value of direct voltages	11
5. Systems for measuring ripple voltage	11
6. Determination of voltage ratios and scale factors	13
7. Determination of the amplitude-frequency response of a measuring system	13
8. Possible sources of error and precautions	13
SECTION THREE – MEASUREMENT OF ALTERNATING VOLTAGES	
9. General	15
10. Systems for measuring the amplitude of alternating voltages	15
11. Systems for measuring the amplitude of harmonics	17
12. Determination of voltage ratios and scale factors	17
13. Determination of the amplitude-frequency response of a measuring system	19
14. Possible sources of errors and precautions	19
SECTION FOUR – MEASUREMENT OF IMPULSE VOLTAGES	
15. General	19
16. Measuring system components	21
16.1 Voltage divider	21
16.2 High voltage lead	21
16.3 Damping resistor	23
16.4 Oscilloscope	23
16.5 Peak voltmeter	23
16.6 Coaxial cable and matching devices	25
16.7 Earth returns	25
17. Determination of voltage divider ratios and scale factors	25
18. Response of a measuring system	27
19. Experimental procedure for measuring the unit step response	29
20. Determination of the response parameters from step response oscillograms	31
20.1 Determination of the virtual starting point $0'$ and unit amplitude	31
20.2 Determination of the response time T	31
20.3 Determination of the initial distortion time T_0	33
20.4 Determination of the response time T_t of the system without high voltage lead	33
20.5 Determination of the resonant frequency range	35
20.6 Determination of partial response time T_a	35
21. Determination of the response parameters by the sphere-gap method	35
21.1 Determination of the response time T	35
21.2 Determination of the partial response time T_a or T_a'	37
21.3 Determination of the response time T_t of the system without high voltage lead	37
21.4 Determination of the resonant frequency range	39
22. Relation of response parameters to measuring errors	39
22.1 Errors caused by response time T	39
22.2 Errors caused by partial response time T_a	41
22.3 Errors caused by initial distortion time T_0	41
23. Criteria relating to corrections	41
23.1 Conditions for measurements to be sufficiently accurate without corrections	41
23.2 Conditions for correcting measurements and limits of application of the corrections	43
23.3 Procedures for cases when recorded oscillations exceed permitted level	47
24. Evaluation of a measuring system by comparison method	47

Articles	Pages
25. Sources d'erreurs diverses, précautions	46
25.1 Rapport du diviseur pour des chocs de longue durée	46
25.2 Effets de proximité	48
25.3 L'effet de couronne, précautions	48
25.4 Contrôle du niveau de perturbations	48
SECTION CINQ – MESURE DES COURANTS DE CHOC	
26. Généralités	50
27. Dispositifs de mesure couramment utilisés	50
27.1 Constituants du circuit de mesure	52
27.2 Réponse à l'échelon des circuits de mesure de courant	52
28. Précautions	54
SECTION SIX – ERREURS DE MESURE	
29. Evaluation statistique	54
ANNEXE A – Diviseurs à résistance	58
ANNEXE B – Bases mathématiques du temps de réponse T	60
ANNEXE C – Procédure pour déterminer si les oscillations sont présentes sur l'objet en essai	64
FIGURES	66

Clause	Page
25. Various sources of errors, precautions	47
25.1 Divider ratio for long impulse duration	47
25.2 Proximity effects	49
25.3 Corona effects, precautions	49
25.4 Disturbance level check	49
SECTION FIVE – MEASUREMENT OF IMPULSE CURRENTS	
26. General	51
27. Commonly used measuring systems	51
27.1 Measuring system components	53
27.2 Step response of current measuring systems	53
28. Precautions	55
SECTION SIX – MEASURING ERRORS	
29. Statistical evaluation	55
APPENDIX A – Resistor dividers	59
APPENDIX B – Mathematical basis for response time T	61
APPENDIX C – Procedure to determine if oscillations are present across the test object	65
FIGURES	66

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Quatrième partie: Guide d'application des dispositifs 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.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes N° 42 de la CEI: Technique des essais à haute tension.

Elle constitue la révision de la partie de la Publication 60 de la CEI qui traite des procédés de mesures et d'étalonnage nécessaires afin de remplir les conditions de précision spécifiées. Elle remplace plus particulièrement la section huit, les annexes et les notes techniques de la Publication 60 de la CEI.

Lors d'une réunion tenue à Bucarest en 1962, une discussion générale avait eu lieu au sujet des modifications et additifs à prévoir pour la Publication 60 de la CEI, alors en cours d'impression. Il en résulta des projets qui furent diffusés et discutés à Aix-les-Bains en 1964, à Tokyo en 1965, à Londres en 1968, à Leningrad en 1971 et à Ottawa en 1975. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 42(Bureau Central)27, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1976.

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

Allemagne	Japon
Autriche	Norvège
Belgique	Pologne
Brésil	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Corée (République de)	Suède
Danemark	Suisse
Egypte	Tchécoslovaquie
Espagne	Turquie
Etats-Unis d'Amérique	Union des Républiques
France	Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 52: Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre).
- 60-2: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais.
- 60-3: Techniques des essais à haute tension, Troisième partie: Dispositifs de mesure.
- 186: Transformateurs de tension.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

Part 4: Application guide for measuring devices

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 42, High-Voltage Testing Techniques.

It constitutes a revision of that part of IEC Publication 60 which deals with measuring and calibration procedures which will satisfy the specified requirements for accuracy. More specifically it replaces Section eight, the appendices and the technical notes of the IEC Publication 60.

During a meeting in Bucharest in 1962, a general discussion was held concerning which modifications and addenda were foreseen for IEC Publication 60, then being printed. Subsequent drafts were circulated and discussed in Aix-les-Bains in 1964, in Tokyo in 1965, in London in 1968, in Leningrad in 1971 and in Ottawa in 1975. As a result of this latter meeting, a draft, Document 42(Central Office)27, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1976.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Norway
Belgium	Poland
Brazil	Romania
Canada	Spain
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Egypt	Turkey
France	Union of Soviet
Germany	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Korea (Republic of)	Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 52: Recommendations for Voltage Measurement by Means of Sphere-gaps (One Sphere Earthed).

- 60-2: High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.
 60-3: High-voltage Test Techniques, Part 3: Measuring Devices.
 186: Voltage Transformers.

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Quatrième partie: Guide d'application des dispositifs de mesure

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

Ce guide d'application est applicable:

- aux mesures des tensions continues;
- aux mesures des tensions alternatives;
- aux mesures des tensions de choc;
- aux mesures des courants de choc;
- aux erreurs de mesure.

2. Objet

L'objet de ce guide d'application est de présenter des renseignements sur:

- des dispositifs de mesure pour des tensions continues;
- des dispositifs de mesure pour des tensions alternatives;
- des dispositifs de mesure pour des tensions de choc;
- des dispositifs de mesure pour des courants de choc;
- l'évaluation statistique des erreurs de mesure.

En général, l'emploi des dispositifs et des procédés de mesure et d'étalonnage décrits ci-après remplira les conditions de précision spécifiées dans la Publication 60-3 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, troisième partie: Dispositifs de mesure. L'emploi de ces procédés n'est pas obligatoire; d'autres peuvent être utilisés s'il est établi qu'ils donnent la même précision. Les mesures de tension à l'aide d'éclateurs à sphères sont examinées dans la Publication 52 de la CEI: Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre).

SECTION DEUX – MESURE DES TENSIONS CONTINUES

3. Généralités

Les circuits de mesure des tensions continues comprennent généralement un appareil de mesure et une impédance élevée aux bornes de laquelle apparaît la presque totalité de la tension d'essai. L'impédance est de valeur élevée afin de réduire la consommation de la puissance du circuit de mesure. Quelques-uns des circuits les plus communément utilisés pour mesurer la valeur permanente et l'amplitude de l'ondulation sont décrits ci-dessous.

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

Part 4: Application guide for measuring devices

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope

This application guide is applicable to:

- measurement of direct voltages;
- measurement of alternating voltages;
- measurement of impulse voltages;
- measurement of impulse currents;
- measuring errors.

2. Object

The object of this application guide is to provide information on:

- measuring devices for direct voltages;
- measuring devices for alternating voltages;
- measuring devices for impulse voltages;
- measuring devices for impulse currents;
- statistical evaluation of measuring errors.

In general, use of the devices and of the measuring and calibration procedures described herein will satisfy the requirements of accuracy specified in IEC Publication 60-3, High-voltage Test Techniques, part 3: Measuring Devices. Their use is not mandatory: others may be used if they are shown to have equal accuracy. Voltage measurements with sphere-gaps are dealt with in IEC Publication 52, Recommendations for Voltage Measurement by Means of Sphere-gaps (One Sphere Earthed).

SECTION TWO – MEASUREMENT OF DIRECT VOLTAGES

3. General

Systems for measuring direct voltages generally consist of a measuring instrument and a high impedance across which almost the entire test voltage will appear. The value of the impedance is made high to minimize the power consumption of the measuring system. Some of the more commonly used systems for measuring the steady-state and ripple values are described below,

4. Dispositifs de mesure de la valeur permanente des tensions continues

a) Appareil utilisé avec une résistance série

Un appareil de mesure de courant continu est connecté en série avec une résistance stable de valeur ohmique élevée.

b) Appareil utilisé avec un diviseur de tension

Un voltmètre est raccordé au bras basse tension d'un diviseur de tension à résistance. La résistance du voltmètre doit être prise en considération pour déterminer le rapport du diviseur.

Note. — Selon le type d'instrument utilisé, ces méthodes détermineront la moyenne arithmétique, la valeur efficace, ou la valeur de crête de la tension.

c) Voltmètre électrostatique

Un voltmètre électrostatique comporte deux électrodes qui sont raccordées aux points entre lesquels la haute tension doit être mesurée. Le champ électrostatique entre les électrodes engendre une force d'attraction qui est proportionnelle à la valeur efficace de la tension. La valeur efficace de la haute tension peut être déduite de la mesure de cette force. Ce principe de mesure peut être utilisé dans la gamme de fréquences comprises entre zéro et plusieurs mégahertz. Si le circuit de mesure n'est pas blindé, il faudra faire particulièrement attention aux erreurs dues aux champs parasites ou aux charges d'espace.

d) Voltmètre à armature tournante

Un voltmètre à armature tournante est un dispositif à condensateur dont les bornes sont raccordées aux points entre lesquels la tension est à mesurer. C'est essentiellement une capacité variable dont la valeur varie cycliquement entre deux valeurs fixes. Un appareil de mesure associé à un dispositif de commutation ou de redressement approprié mesure la variation de charge, qui est en général proportionnelle à la valeur moyenne de la tension continue. Grâce à un choix adéquat de la fréquence de variation de la capacité, et de son déphasage par rapport à la tension à mesurer, on peut déterminer la valeur de crête ou toute autre valeur intermédiaire.

5. Dispositifs de mesure de la tension d'ondulation

a) Oscilloscope utilisé avec un diviseur de tension

Un oscilloscope est raccordé au bras basse tension d'un diviseur de tension ayant une réponse en fréquence appropriée. On notera que la capacité du câble entre le diviseur et l'appareil peut modifier la réponse en fréquence.

b) Appareil utilisé avec un filtre

Un tel dispositif consiste en général en un appareil connecté au circuit de façon que la composante continue soit éliminée par filtrage. Une disposition type comprend une capacité haute tension en série avec une résistance aux bornes de laquelle est connecté un appareil de mesure de tension.

c) Appareil mesurant le courant redressé traversant un condensateur

Un condensateur, en série avec un dispositif redressant les deux alternances, est raccordé entre les points où la tension est à mesurer. L'amplitude d'ondulation U_r est liée à la valeur moyenne du courant redressé I_r à travers la capacité, par la relation:

$$U_r = \frac{I_r}{4 C f}$$

où:

C = capacité du condensateur

f = fréquence fondamentale de l'ondulation

4. Systems for measuring the steady-state value of direct voltages

a) *Instrument used with series resistor*

A direct current measuring instrument is connected in series with a stable high ohmic value resistor.

b) *Instrument used with voltage divider*

A voltmeter is connected across the low voltage arm of a resistance voltage divider. The resistance of the voltmeter must be taken into account when determining the ratio of the divider.

Note. – Depending on the type of instrument used, these methods will determine the arithmetic mean, the r.m.s. or the peak value of the voltage.

c) *Electrostatic voltmeter*

An electrostatic voltmeter has two electrodes which are connected to the points between which the high voltage is to be measured. The electrostatic field between the electrodes generates an attracting force which is proportional to the r.m.s. value of the voltage. By measurement of this force, an indication of the r.m.s. value of the high voltage can be derived. This measuring principle can be used over the range of frequencies from zero up to several megahertz. If the measuring system is not shielded, special attention should be given to errors caused by stray fields and space charges.

d) *Generating voltmeter*

A generating voltmeter is a capacitive device the input terminals of which are connected to the points between which the voltage is to be measured. It is essentially a variable capacitor, the capacitance being cyclically changed between two fixed values. A measuring instrument together with a suitable switching or rectifying device measures the change of charge which, in general, is proportional to the mean value of the direct voltage. By a suitable choice of frequency of the capacitance variation and its phase angle relative to the voltage to be measured, the peak value or any intermediate value can be determined.

5. Systems for measuring ripple voltage

a) *Oscilloscope used with voltage divider*

An oscilloscope is connected to the low voltage arm of a voltage divider having a suitable frequency response. It should be noted that the capacitance of the cable between the divider and the instrument can modify the frequency response.

b) *Instrument used with filter*

Such a device consists in general of an instrument connected to the circuit in such a way that the d.c. component is filtered out. A typical arrangement consists of a high voltage capacitor in series with a resistor across which a voltage measuring instrument is connected.

c) *Instrument measuring the rectified current through a capacitor*

A capacitor in series with a full-wave rectifier is connected to the points between which the voltage is to be measured. The ripple amplitude U_r is related to the rectified mean current I_r flowing through the capacitor by:

$$U_r = \frac{I_r}{4 C f}$$

where:

C = capacitance of the capacitor

f = fundamental frequency of the ripple

Si l'ampèremètre mesurant le courant capacitif est raccordé de manière qu'une seule alternance sur deux du courant soit mesurée, le facteur 4 de la relation ci-dessus est remplacé par le facteur 2.

La méthode a une application limitée: si l'ondulation possède plus d'un pic par alternance, la précision dépend du type de redresseur utilisé.

6. Détermination des rapports de division de tension et des coefficients de conversion

a) Appareil utilisé avec une résistance en série

La valeur ohmique de la résistance série est déterminée généralement par une mesure au pont à basse tension alimenté en tension continue. Le coefficient de conversion est déduit de cette valeur et des caractéristiques de l'instrument.

Le coefficient de conversion peut également être déterminé par comparaison lors du fonctionnement en parallèle avec un circuit de mesure de tension continue approuvé.

La stabilité de la résistance série dépendant de la tension et de la température peut être vérifiée en soumettant des fractions de résistances à des essais appropriés dans la gamme de tensions et de températures à l'intérieur de laquelle ils doivent être utilisés.

b) Appareil utilisé avec un diviseur de tension

Les procédés pour déterminer le rapport des diviseurs de tension sont exposés à l'article 17.

c) Voltmètre électrostatique et voltmètre à armature tournante

Les circuits de mesure de ces types peuvent être étalonnés par comparaison lors du fonctionnement en parallèle avec d'autres circuits de mesure approuvés.

Note. – Dans les interactions de faisceaux de protons ou de deutérons avec différents noyaux légers, il existe des énergies de résonance connues avec précision pour lesquelles la section efficace de la réaction nucléaire est maximale. Ce phénomène permet l'étalonnage très précis des systèmes de mesure des hautes tensions continues.

7. Détermination de la réponse amplitude-fréquence d'un circuit de mesure

Pour déterminer la réponse d'amplitude-fréquence d'un circuit de mesure, on applique une tension sinusoïdale entre ses bornes d'entrée. Le rapport de l'amplitude de sortie à l'amplitude d'entrée est noté en fonction de la fréquence. La gamme de fréquences doit s'étendre d'une valeur basse à au moins la fréquence importante la plus élevée présente dans la tension à mesurer. Les mesures se font habituellement à une faible valeur de la tension d'entrée.

8. Sources d'erreurs possibles et précautions

Quand on utilise des circuits de mesure de tension continue ayant une résistance très élevée, il faut prendre soin d'éviter les erreurs dues à l'effet de couronne ou aux courants de fuite sur les surfaces isolantes qui peuvent être contaminées par la pollution ou par la buée. Des électrodes convenablement dimensionnées, des circuits de garde et des traitements de surface réduisent ces erreurs et permettent, par conséquent, de réduire les exigences relatives à la valeur du courant.

Des erreurs peuvent également être provoquées par des résistances ayant un coefficient de tension ou de température important et par des appareils sujets à dérive.

Les voltmètres à armature tournante et les voltmètres électrostatiques peuvent introduire des erreurs dues à la distorsion du champ provoquée par les charges électrostatiques à la surface des matériaux isolants ou dans l'espace.

If the ammeter measuring the capacitor current is connected so that only alternate half-cycles of current are measured, the factor 4 in the above expression becomes 2.

The method is of limited application. If the ripple has more than one peak during each half-cycle, then the accuracy depends upon the type of rectifier which is used.

6. Determination of voltage ratios and scale factors

a) *Instrument used with series resistor*

The resistance of the series resistor is generally determined by a low voltage bridge measurement using direct voltage. From this value and the characteristics of the instrument, the scale factor is deduced.

The scale factor can also be determined by comparison during parallel operation with an approved direct voltage measuring system.

The voltage and temperature stability of the series resistor at high voltage can be verified by subjecting individual components of the resistor to suitable tests over the range of voltages and temperatures at which they will operate.

b) *Instrument used with voltage divider*

Methods for determining the ratio of voltage dividers are discussed in Clause 17.

c) *Electrostatic voltmeter and generating voltmeter*

Measuring systems of these types can be calibrated by comparison during parallel operation with other approved measuring systems.

Note. – During reactions between proton or deuteron beams with different light nucleus elements, precisely known resonant energies exist for which the cross-section for a reaction is a maximum. This effect can be used as a very accurate absolute calibration method for high d.c. voltage measuring systems.

7. Determination of the amplitude-frequency response of a measuring system

To determine the amplitude-frequency response of a measuring system, a sinusoidal voltage is applied between its input terminals. The ratio of the output to the input amplitudes is recorded as a function of frequency. The range of frequencies should extend from a low value to at least the highest of importance present in the voltage to be measured. The measurements are usually made at a low value of input voltage.

8. Possible sources of error and precautions

When using direct voltage measuring systems of very high resistance, care must be exercised to avoid errors due to corona effects, or to leakage currents across insulating surfaces which may be contaminated by pollution or condensed moisture. Suitably dimensioned high voltage electrodes, guard circuits and surface treatment minimize such errors and thus the requirements for current level can be reduced.

Errors can also be caused by resistors which have significant voltage or temperature coefficients and by instruments which are subject to drift.

Generating and electrostatic voltmeters may develop errors due to field distortion arising from electrostatic charges on the surface of insulating materials or in space.

Une contrainte excessive des constituants de l'équipement de mesure, lors du contournement d'un objet à l'essai ou des erreurs de mesure dues à des décharges partielles, peuvent survenir dans un circuit dont la réponse aux fréquences hautes excède notablement sa réponse dans la plage des fréquences basses. Ces phénomènes sont habituellement associés à la présence d'inductances parasites.

SECTION TROIS – MESURE DES TENSIONS ALTERNATIVES

9. Généralités

Les circuits de mesure des tensions alternatives consistent généralement en un appareil de mesure et un transformateur de tension, un diviseur de tension ou une impédance élevée aux bornes de laquelle apparaît la presque totalité de la tension d'essai. Les appareils ont généralement une impédance élevée de façon à ne pas charger le circuit d'essais dans des limites inacceptables. On décrit ci-dessous quelques-uns des dispositifs les plus couramment utilisés pour la mesure des hautes tensions alternatives et des amplitudes des harmoniques.

10. Dispositifs de mesure de l'amplitude des tensions alternatives

Les dispositifs ci-dessous mesureront en général la valeur de crête ou la valeur efficace d'une tension alternative ou la valeur moyenne d'une tension alternative redressée selon le type d'appareil ou la disposition utilisée. La mesure du courant redressé à travers une capacité (méthode *c*) donne l'amplitude crête à crête et le voltmètre électrostatique (méthode *d*) donne la valeur efficace.

a) Appareil utilisé avec un transformateur de tension

Un voltmètre est raccordé sur l'enroulement basse tension d'un transformateur de tension du type inductif ou capacitif. En général, l'impédance d'entrée ne limite pas le choix de l'appareil.

b) Appareil utilisé avec un diviseur de tension

Un voltmètre ou un oscillographe est raccordé sur le bras basse tension du diviseur par un câble de mesure. En général, l'impédance d'entrée du circuit de mesure basse tension comprenant le câble de mesure affecte le rapport du diviseur. Dans la plupart des cas, on emploie un diviseur de tension capacitif avec un circuit basse tension mesurant la valeur de crête de la haute tension.

c) Condensateur utilisé avec un dispositif redresseur

Un condensateur en série avec un dispositif redressant les deux alternances est raccordé aux points où la tension est à mesurer. La valeur de crête de la tension U_p est liée à la valeur moyenne du courant redressé I_r à travers la capacité par la relation

$$U_p = \frac{I_r}{4 C f}$$

où:

C = capacité du condensateur

f = fréquence de la tension alternative

Si l'ampèremètre mesurant le courant capacitif est raccordé de manière qu'une seule alternance sur deux du courant soit mesurée, le facteur 4 de la relation ci-dessus est remplacé par le facteur 2.

La méthode a une application limitée. Si l'ondulation possède plus d'un pic par alternance, la précision dépend du type de redresseur utilisé.

Overstressing of components in measuring equipment upon flashover of a test object or measuring errors due to partial discharges can occur in a measuring system having a high frequency response appreciably in excess of its response in the low frequency range. These phenomena are usually associated with the presence of stray inductance.

SECTION THREE – MEASUREMENT OF ALTERNATING VOLTAGES

9. General

Systems for measuring alternating voltages generally consist of a measuring instrument and a voltage transformer, voltage divider, or a high impedance across which almost the entire test voltage will appear. The devices usually have high impedance to keep the loading of the test circuit within acceptable limits. Some of the more commonly used systems for measuring high alternating voltages and the amplitudes of harmonics are described.

10. Systems for measuring the amplitude of alternating voltages

The following systems will in most cases measure the peak or the r.m.s. value of an alternating voltage or the mean value of a rectified alternating voltage according to the type of instrument and arrangement used. Measurement of the rectified capacitance current (method *c*)) will determine the peak-to-peak amplitude, and the electrostatic voltmeter (method *d*)) measures the r.m.s. value.

a) Instrument used with voltage transformer

A voltmeter is connected across the low voltage winding of a voltage transformer of either the inductive or capacitive type. In general, the choice of the instrument is not restricted by its input impedance.

b) Instrument used with voltage divider

A voltmeter or an oscilloscope is connected across the low voltage arm of the divider through a measuring cable. In general, the input impedance of the low voltage measuring circuit including the measuring cable affects the divider ratio. In most cases, a capacitive voltage divider together with a low voltage circuit measuring the peak value of the high voltage is used.

c) Capacitor used with a rectifying device

A capacitor in series with a full-wave rectifier is connected to the points between which the voltage is to be measured. The peak value of the voltage U_p is related to the rectified mean current I_r flowing through the capacitor by

$$U_p = \frac{I_r}{4 C f}$$

where:

C = capacitance of the capacitor

f = frequency of the alternating voltage

If the ammeter measuring the capacitor current is connected so that only alternate half-cycles of current are measured, the factor 4 in the above expression becomes 2.

The method is of limited application. If the waveform has more than one peak during each half-cycle, then the accuracy depends upon the type of rectifier which is used.

d) Voltmètre électrostatique

Ce dispositif est décrit au point c) de l'article 4 pour l'emploi avec des tensions continues. Il peut être aussi utilisé pour mesurer la valeur efficace des tensions alternatives dans une large gamme de fréquences jusqu'à plusieurs mégahertz.

e) Voltmètre à armature tournante

Ce dispositif est décrit au point d) de l'article 4 pour l'emploi avec des tensions continues. Un tel voltmètre peut aussi être utilisé pour la mesure des tensions alternatives. Grâce à un choix adéquat de la fréquence de variation de la capacité, et de son déphasage par rapport à la tension à mesurer, on peut déterminer la valeur de crête ou toute autre valeur intermédiaire.

f) Appareil utilisé avec une résistance additionnelle

Un appareil de mesure de courant alternatif est connecté en série avec une résistance stable de grande valeur.

11. Dispositifs de mesure de l'amplitude des harmoniques*a) Oscillographe utilisé avec un diviseur de tension*

Un oscillographe est connecté sur le bras basse tension d'un diviseur de tension capacitif. Ce procédé n'est satisfaisant que si la précision de l'enregistrement et de l'analyse consécutive est suffisante pour garantir que les prescriptions sont satisfaites. Cette méthode a une précision limitée, surtout dans le cas d'harmoniques de faible amplitude.

b) Appareil utilisé avec un filtre

Un filtre est utilisé pour supprimer la composante fondamentale de la tension, et la valeur efficace des harmoniques résiduels est mesurée avec un instrument approprié. En variante, mais avec moins de précision, la valeur de crête de l'ensemble des harmoniques peut être mesurée.

c) Analyseur d'harmoniques utilisé avec un diviseur de tension

Ce dispositif permet la mesure séparée de la valeur efficace de la composante fondamentale et de chaque harmonique.

12. Détermination des rapports de division de tension et des coefficients de conversion*a) Appareil utilisé avec un transformateur de tension*

Les méthodes pour la détermination du rapport des transformateurs de tension sont traitées dans la Publication 186 de la CEI: Transformateurs de tension.

b) Appareil utilisé avec des diviseurs de tension

Les méthodes pour la détermination du rapport des diviseurs de tension sont décrites à l'article 17.

c) Voltmètre électrostatique et voltmètre à armature tournante

Les circuits de mesure de ces types sont généralement étalonnés par comparaison pendant le fonctionnement en parallèle avec d'autres circuits de mesure approuvés.

d) Appareil utilisé avec une résistance série

Les méthodes pour étalonner les circuits de ce type sont décrites au point a) de l'article 6. Cependant, l'impédance de cette résistance et le coefficient de conversion doivent être déterminés dans la gamme de fréquences des tensions alternatives à mesurer.

d) Electrostatic voltmeter

This device is described in Item c) of Clause 4 for use with direct voltages. It can also be used for measuring the r.m.s. value of alternating voltages in a large range of frequencies up to several megahertz.

e) Generating voltmeter

A generating voltmeter is described in Item d) of Clause 4 for use with direct voltages. Such a voltmeter may also be used for the measurement of alternating voltages. By a suitable choice of frequency of the capacitance variation and its phase angle relative to the voltage to be measured the peak value or any intermediate value can be determined.

f) Instrument used with series resistance

An alternating current measuring instrument is connected in series with a stable high ohmic value resistor.

11. Systems for measuring the amplitude of harmonics*a) Oscilloscope used with voltage divider*

An oscilloscope is connected across the low voltage arm of a capacitor voltage divider. This method is sufficient only if the accuracies of both the recording and the subsequent analysis are sufficient to ensure that the requirements are met. The method has limited accuracy especially in the case of low amplitude harmonics.

b) Instrument used with filter

A filter is used to suppress the fundamental component of the voltage and the r.m.s. value of the residual harmonics is measured with an appropriate instrument. Alternatively, but with less accuracy, the peak value of the combined harmonics may be measured.

c) Wave analyser used with voltage divider

This system permits separate measurement of the r.m.s. value of the fundamental and each harmonic.

12. Determination of voltage ratios and scale factors*a) Instrument used with voltage transformer*

Methods for determining the ratio of voltage transformers are covered in IEC Publication 186, Voltage Transformers.

b) Instrument used with voltage dividers

Methods for determining the ratio of voltage dividers are described in Clause 17.

c) Electrostatic voltmeter and generating voltmeter

Measuring systems of these types can be calibrated by comparison during parallel operation with other approved measuring systems.

d) Instrument used with series resistance

Methods for calibrating systems of this type are described in Item a) of Clause 6. However, the impedance of this resistor and the scale factor should be determined within the frequency range of the alternating voltages to be measured.

13. Détermination de la réponse amplitude-fréquence d'un circuit de mesure

Pour déterminer la réponse amplitude-fréquence d'un circuit de mesure, on applique une tension sinusoïdale entre ses bornes d'entrée. Le rapport entre l'amplitude de sortie et l'amplitude d'entrée est enregistré en fonction de la fréquence. La gamme de fréquences doit s'étendre d'une valeur basse à au moins la fréquence importante la plus élevée présente dans la tension à mesurer. Les mesures se font habituellement à une faible valeur de la tension d'entrée.

14. Sources d'erreurs possibles et précautions

Du fait de la haute impédance de certains diviseurs de tension ou éléments d'impédance série, l'effet de couronne et les capacités parasites peuvent provoquer de graves erreurs. De telles erreurs peuvent souvent être réduites par l'emploi d'électrodes convenablement dimensionnées et de circuits de garde. Pour éviter de tels effets sur les diviseurs capacitifs, il est recommandé, lorsque le condensateur n'est pas efficacement blindé, que la capacité série totale, exprimée en picofarads, soit au moins de 30 à 40 fois égale à la longueur hors tout, exprimée en mètres.

Des erreurs peuvent être dues également à des résistances ayant un coefficient de tension ou de température important et à des appareils sujets à dérive.

Les voltmètres électrostatiques et à armature tournante peuvent conduire à des erreurs dues à la distorsion du champ provenant des charges électrostatiques situées à la surface des matériaux isolants ou dans l'espace.

Lorsqu'une capacité série haute tension est utilisée pour la mesure de tension, une protection particulière des instruments de mesure est nécessaire pendant les essais de décharge disruptive. La décharge disruptive d'un objet à l'essai raccordé en parallèle avec un circuit de mesure de ce type peut entraîner l'apparition d'impulsions de courant à front raide dans les redresseurs et les appareils qui doivent être convenablement protégés.

Une contrainte excessive des constituants de l'appareillage de mesure lors de la décharge disruptive d'un objet à l'essai, ou des erreurs de mesure dues à des décharges partielles peuvent survenir dans un circuit dont la réponse aux fréquences hautes excède notablement sa réponse dans la plage des fréquences basses. Ces phénomènes sont habituellement associés à la présence d'inductances parasites.

SECTION QUATRE - MESURE DES TENSIONS DE CHOC**15. Généralités**

Les circuits de mesure pour les tensions de choc de foudre et de manœuvres doivent être capables d'enregistrer des tensions ayant des vitesses de variation beaucoup plus élevées que celles d'autres types de haute tension. Par conséquent, les constituants du circuit doivent être spécialement conçus pour avoir une bonne réponse transitoire. De ce fait, une grande partie de cette section traite des méthodes de détermination des caractéristiques de réponse des circuits de mesure et des erreurs causées par une réponse insuffisante. Un circuit utilisé pour déterminer la réponse d'un système de mesure est représenté à la figure 1, page 66. D'autres circuits sont aussi utilisables.

Il est également important que le circuit de mesure ne représente pas, pour le circuit générateur, une charge telle que ce dernier ne puisse développer les grandes vitesses de variation de tension souhaitées sur l'objet à l'essai.

13. Determination of the amplitude-frequency response of a measuring system

To determine the amplitude-frequency response of a measuring system, a sinusoidal voltage is applied between its input terminals. The ratio of the output to the input amplitudes is recorded as a function of frequency. The range of frequencies should extend from a low value to at least the highest of importance present in the voltage to be measured. The measurements are usually made at a low value of low input voltage.

14. Possible sources of errors and precautions

Due to the high impedances of some voltage dividers and series impedance elements, the effects of corona and stray capacitances may result in serious errors. Such errors can often be minimized by the use of suitably dimensioned high-voltage electrodes and guard circuits. To avoid such effects on capacitor dividers, it is recommended that, when the capacitor is not effectively shielded, the total series capacitance in picofarads be at least 30 to 40 times its overall length in metres.

Errors may also be caused by resistors which have significant voltage or temperature coefficients and by instruments which are subject to drift.

Electrostatic and generating voltmeters may develop errors due to field distortion arising from electrostatic charges on the surfaces of insulating materials or in space.

When a high-voltage series capacitor is used for voltage measurement, special protection of the measuring instruments is necessary during disruptive discharge tests. Disruptive discharge of a test object connected in parallel with measuring systems of this type results in the application of fast rising current surges to the rectifiers and instruments, which should be suitably protected.

Overstressing of components in measuring equipment upon disruptive discharge of a test object, or measuring errors due to partial discharges, can occur in a measuring system having a high-frequency response appreciably in excess of its response in the low-frequency range. These phenomena are usually associated with the presence of stray inductances.

SECTION FOUR – MEASUREMENT OF IMPULSE VOLTAGES**15. General**

Measuring systems for lightning and switching impulse voltages must be capable of recording much higher rates of change of voltage than those used for measuring other types of high voltage. Consequently, the components of the system should be specifically designed to have a good transient response. Therefore, a large portion of this section deals with methods for determining the response characteristics of measuring systems and the errors introduced by an inadequate response. A circuit used for checking the response characteristic of a measuring system is shown in Figure 1, page 66. Other circuits are also applicable.

It is also important that the measuring system does not load the generating system so heavily that it is prevented from developing the required high rates of change of voltage across the test object.

Des tensions induites par les courants élevés ou par des tensions extérieures au système de mesure ne sont pas prises en compte dans l'examen de la réponse et des erreurs de mesure. Il faut être particulièrement prudent quand on utilise les mesures de la réponse pour les essais comportant des courants élevés.

Il convient de se rappeler que la tension aux bornes de l'objet à l'essai est rarement identique, à tous égards, à la tension aux bornes du diviseur de tension.

16. Constituants du circuit de mesure

La plupart des circuits de mesure de choc à haute tension (à l'exception des éclateurs à sphères) consistent en un diviseur de tension, un oscillographe ou un appareil indicateur ou les deux à la fois, des conducteurs à haute tension, des câbles de mesure à basse tension ainsi que des circuits de retour à la terre. Une résistance d'amortissement à haute tension peut aussi être utilisée. Dans les paragraphes ci-après, on expose les principales particularités de ces constituants.

16.1 Diviseur de tension

La plupart des diviseurs haute tension ont des capacités parasites réparties par rapport aux masses et aux objets voisins sous tension. Dans les diviseurs à résistance, ces capacités affectent les caractéristiques de réponse car elles doivent être chargées et déchargées à travers la résistance du diviseur; dans les diviseurs capacitifs, les capacités parasites affectent le coefficient de conversion.

L'effet de la capacité parasite dans les diviseurs à résistance peut être réduit en maintenant la résistance à une valeur aussi faible que possible sans charger excessivement le circuit générateur et en utilisant des électrodes de blindage à l'extrémité haute tension du diviseur. Ces électrodes fournissent un chemin capacitif pour charger les capacités parasites par rapport au sol.

Dans les diviseurs capacitifs, la capacité du diviseur doit être assez grande pour réduire l'effet de la capacité parasite. Les diviseurs capacitifs peuvent, en raison des inductances parasites du bras basse tension, provoquer un dépassement ou des oscillations de valeur élevée dans le cas de chocs à front raide.

Les diviseurs mixtes comportent des capacités et des résistances. Pour ces diviseurs, l'effet de la capacité parasite dépend de la façon dont les constituants sont branchés.

16.2 Conducteur haute tension

La longueur, la position et le diamètre du conducteur reliant la borne haute tension du diviseur de tension à la borne haute tension de l'objet à l'essai peuvent influencer le fonctionnement du circuit de mesure. Pour toute mesure, la longueur de ce conducteur doit être précisée et rester dans la gamme pour laquelle le circuit de mesure a été étalonné. Sa position doit, si elle est importante, être approximativement la même pendant les essais et pendant l'étalonnage.

L'idéal serait que le diamètre du conducteur soit assez grand pour empêcher l'effet de couronne, effet qui peut affecter le fonctionnement du circuit de mesure. Si l'effet de couronne ne peut pas être évité, il est préférable d'utiliser un conducteur de petit diamètre. Des décharges intenses au voisinage du diviseur doivent être évitées.

Normalement, le conducteur haute tension doit être raccordé directement à la borne haute tension de l'objet à l'essai et non au générateur de choc ou à un point quelconque du conducteur les reliant. Cela évite d'introduire, dans la mesure, la chute de tension inductive dans ce conducteur. Cependant, quand on mesure des chocs de foudre pleins normalisés ou des chocs coupés

The induced voltages from heavy currents, or voltages outside of the measuring system, are not taken into account when considering the response and the measuring errors. Special care should be taken when the result of response measurements are applied to tests with heavy currents.

It should be realized that the voltage across the test object is rarely identical in all respects to that across the voltage divider.

16. Measuring system components

Most high-voltage impulse measuring systems (except sphere-gaps) consist of a voltage divider, an oscilloscope or an indicating instrument or both, high-voltage leads, low-voltage measuring cables and earth return circuits. A high-voltage damping resistor may also be included. Important features of these components are explained in the following sub-clauses.

16.1 *Voltage divider*

Most high-voltage dividers have distributed stray capacitances to earth and to neighbouring earthed or live objects. In resistor dividers, these capacitances affect the response characteristics since they must be charged and discharged through the divider resistance; in capacitor dividers, the stray capacitances affect the scale factor of the system.

The effect of stray capacitance can be reduced in resistor dividers by keeping the resistance as low as possible without unduly loading the generating system and by using shielding electrodes at the high-voltage end of the divider. These electrodes provide a capacitive path for charging the stray capacitance to earth.

In capacitor dividers, the capacitance of the divider should be large enough to minimize the effect of stray capacitance. Capacitor dividers for rapidly changing impulses may have large overshoots or oscillations in their output due to parasitic inductances in the low-voltage arm.

Mixed dividers consist of both capacitive and resistive elements. In such dividers, the effect of stray capacitance depends on the manner in which the component parts are connected.

16.2 *High-voltage lead*

The length, position and diameter of the lead connecting the high-voltage terminal of the voltage divider to the high-voltage terminal of the test object may all influence the performance of the measuring system. For any particular measurement, the length of the lead should be stated and it should be within the range of lengths for which the measuring system was calibrated. When important, its position should be approximately the same for a test as during calibration.

Ideally, the diameter of the lead should be large enough to prevent corona since corona on the lead can affect the performance of the measuring system. When corona cannot be prevented, it is better to use a small diameter lead. Vigorous discharges in the vicinity of the divider should be avoided.

The high-voltage lead should normally be connected directly to the high-voltage terminal of the test object and not to the impulse generator or any point on the interconnecting lead. This avoids inclusion in the measurement of the inductive voltage drop in this lead. However, when measuring full standard lightning impulses or impulses chopped on the tail, it can in general be

sur la queue, on peut admettre en général que l'erreur due au raccordement du diviseur sur un point intermédiaire du conducteur entre le générateur et l'objet à l'essai est négligeable si la condition $\sqrt{LC} \leq 0,05 \mu\text{s}$ est satisfaite. Dans cette relation, L est l'inductance en microhenrys de la partie du conducteur située entre le diviseur et l'objet à l'essai (en gros $1 \mu\text{H/m}$) et C est, en microfarads, la capacité équivalente de l'objet. La longueur totale du conducteur entre le diviseur de tension et l'objet à l'essai est alors considérée comme étant le conducteur haute tension du circuit de mesure.

16.3 *Résistance d'amortissement*

Une résistance très peu inductive peut être branchée en série avec le conducteur haute tension pour amortir les oscillations. Une telle résistance peut être placée soit près du diviseur de tension, soit à l'entrée du conducteur à haute tension. Dans le premier cas, la résistance est considérée comme faisant partie du diviseur; le circuit est alors un circuit à deux constituants. Dans le cas contraire, le circuit est à trois constituants.

Quelle que soit la position de la résistance, il faut tenir compte de sa valeur quand on détermine le rapport du circuit.

La résistance peut avoir une influence appréciable sur la réponse du circuit de mesure. Ce guide d'application ne traite que des circuits à deux constituants.

16.4 *Oscillographe*

Un oscillographe de choc est essentiellement un appareil blindé avec soin ayant une grande vitesse d'écriture et avec un balayage unique pouvant être déclenché en synchronisme avec le choc. L'alimentation haute tension de l'appareil doit être stabilisée et pratiquement sans ondulation. Un moyen d'étalonner la vitesse de balayage ainsi que la déviation verticale doit être fourni. L'enregistrement photographique des oscillogrammes doit également être prévu.

Il est important que les plaques de déviation de l'oscillographe restent dans les mêmes conditions de mise à la terre et de polarisation pendant l'étalonnage et pendant l'enregistrement des tensions de choc. Normalement, les oscillographes de choc ne sont pas équipés d'amplificateurs et les conducteurs allant aux plaques de déviation sont aussi courts que possible de façon à obtenir un bon fonctionnement aux fréquences élevées. Les oscillographes avec amplificateurs sont tout à fait acceptables s'ils ont une réponse suffisamment rapide et une précision de mesure de tension suffisamment élevée. Cependant, ces appareils sont particulièrement sensibles aux perturbations.

L'oscillographe est normalement équipé d'un connecteur d'entrée pour le câble coaxial venant du diviseur de tension. L'impédance d'entrée, mesurée sur ce connecteur doit, selon le type de diviseur, être soit adaptée à l'impédance caractéristique du câble coaxial, soit aussi élevée que possible (voir paragraphe 16.6). Quelquefois, les deux possibilités sont prévues. Dans les deux cas, la capacité d'entrée de l'oscillographe doit être aussi faible que possible. L'appareil peut également comporter un atténuateur interne donnant une réduction par paliers de la tension entre le connecteur d'entrée et les plaques de déviation.

16.5 *Voltmètre de crête*

Le voltmètre de crête est un appareil qui fonctionne habituellement en chargeant une capacité à travers des redresseurs à une tension proportionnelle à la valeur de crête des chocs à mesurer. La charge, maintenue sur le condensateur, est lue au moyen d'un amplificateur à très haute impédance et d'un appareil enregistreur ou indicateur incorporé dans l'appareil. Un tel appareil donne une erreur dépendant de la forme de choc à mesurer et qui doit être déterminée expérimentalement. L'impédance d'entrée de l'appareil est soumise à des limitations identiques à celles